This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

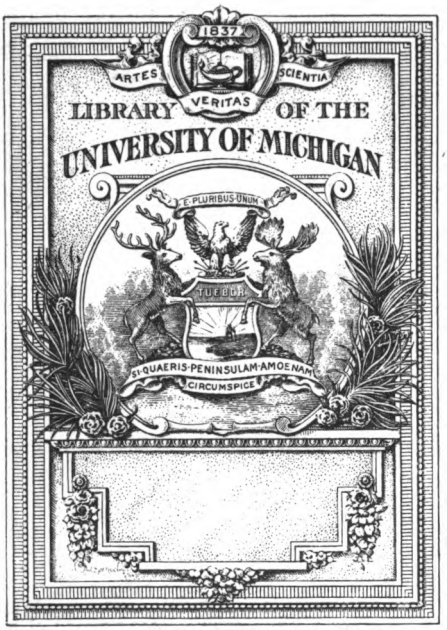
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Astron. Obs.
TS
545
.H82
STORAGE
K107
A572247

HOROLOGY



Digitized by Google

Horology. [1867-82]

Arthur Adams.

Astronomical Observatory
TS
545
.H82

Digitized by Google

Digitized by Google

88130 Bind their four together
from Mr Reid

DESCRIPTION

DE

L'HORLOGE MONUMENTALE

DE

LA CATHÉDRALE DE BEAUVAIS,

CONÇUE ET EXÉCUTÉE

par M. A.-L. VÉRITÉ,

CHEVALIER DE LA LÉGION-D'HONNEUR, INGÉNIEUR CIVIL, A BEAUVAIS.

BEAUVAIS,

IMPRIMERIE DE D. PERE, IMPRIMEUR DE L'EVÊCHÉ.

—

1868.

Digitized by Google

Digitized by Google

DESCRIPTION

71790

DE

L'HORLOGE MONUMENTALE

DE

LA CATHÉDRALE DE BEAUVAIS,

CONÇUE ET EXÉCUTÉE

par M. A.-L. VÉRITÉ,

CHEVALIER DE LA LÉGION-D'HONNEUR, INGÉNIEUR CIVIL A BEAUVAIS.

BEAUVAIS,

IMPRIMERIE DE D. PERE, IMPRIMEUR DE L'ÉVÊCHÉ.

1868.

Digitized by Google

Digitized by Google

AVANT-PROPOS.

La première idée de cette horloge appartient tout entière à Monseigneur l'Evêque de Beauvais. Sa Grandeur, fière à si juste titre de sa belle Cathédrale, voulait la doter d'une horloge qui, par ses proportions grandioses et ses indications multiples, fût un ornement digne de cette basilique, véritable chef-d'œuvre des temps passés.

La pensée de Monseigneur n'avait besoin que d'être exprimée pour être comprise. De nombreux ecclésiastiques s'empressèrent en effet d'offrir leur concours à sa Grandeur, trop heureux d'attacher ainsi leur nom à l'exécution d'une belle œuvre de mécanisme et d'art.

Une commission fut donc instituée. L'artiste

Digitized by Google

était tout désigné : son talent l'imposait, l'amitié le choisissait. Nous avons nommé M. Vérité. Peu de jours après, on était à l'œuvre.

Tout le monde connaît les gloires comme aussi les malheurs de la Cathédrale de Beauvais. Le chœur, par la noble et sévère simplicité de son ornementation, par ses proportions, j'oserais presque dire téméraires, tant elles sont hardies, peut, à juste titre, passer pour le chef-d'œuvre du treizième siècle. Le seizième siècle ne fit nulle part rien de plus grand ni de plus riche que le portail du midi. Le portail du nord, lui, semble être un sublime adieu fait par l'art aux traditions gothiques, avant de se jeter tête baissée dans toutes les décadences de cette époque, que l'on est convenu d'appeler la Renaissance. Mais, hélas ! les voûtes et la flèche écroulées, et surtout de mauvais jours, rendirent à jamais impossible la construction de la Grande Nef de cette Cathédrale, si magnifiquement commencée. Aussi, quand le visiteur, émerveillé par la contemplation du chœur et des transepts, se

Digitized by Google

retourne cherchant la nef, douloureusement son regard vient se heurter contre un affreux mur, œuvre véritablement digne du siècle qui sut le mieux insulter le moyen-âge.

Une immense ogive percée dans ce mur sera, nous l'espérons, le cadre de notre Horloge monumentale (1). Un chef-d'œuvre de notre époque fera ainsi pendant au chef-d'œuvre des âges passés, tout en consolant le regard attristé par l'absence de la Grande Nef.

M. Verdier, architecte de la Cathédrale, a déjà été saisi de ce projet, et il a bien voulu l'étudier avec une obligeance parfaite.

Digitized by Google

Digitized by Google

DESCRIPTION

DE L'HORLOGE MONUMENTALE

DE

LA CATHÉDRALE DE BEAUVAIS.

CHAPITRE Ier.

LE MEUBLE.

Ce meuble a été exécuté sur les plans du R. P. Piérart, l'élève du R. P. Martin, et l'héritier de son génie. Il mesure 12m de hauteur, 5m 12 de largeur et 2m 82 de profondeur. Il a été conçu dans le style sévère de l'époque romane, mais pour le décorer, on a épuisé toutes les richesses de l'ornementation byzantine.

Ce meuble est composé de deux parties bien distinctes. La première est toute architecturale, la seconde est surtout symbolique.

§. Ier. — Partie inférieure et architecturale du Meuble.

Un large soubassement dessine un carré long, qui est le plan par terre du meuble; mais ce sou-

Digitized by Google

bassement, en se massant et en se compliquant aux quatre angles qu'il prolonge, forme de solides piédestaux.

Sur ces piédestaux, se dressent quatre groupes de cinq colonnes qui soutiennent les retombées d'une triple archivolte en retrait, de sorte que le meuble fait porche sur toutes ses faces, suivant une profondeur de plus d'un mètre, que la perspective accuse d'une manière admirable.

Sur les faces latérales, les trois archivoltes concentriques dessinent un triple plein-cintre qui, avec ses trois colonnes, enchâsse une baie unique.

Sur les faces de devant et de derrière, les deux archivoltes, qui se trouvent au premier plan, forment une large arcade trilobée, dont le sommet est à plus de huit mètres du sol. La troisième archivolte, celle qui est sur le dernier plan, ne suit les deux autres que dans leur premier mouvement; elle les abandonne aux deux pointes internes du trilobe, pour dessiner, toute seule, les trois pleins-cintres, qui couronnent les trois grandes baies perçant à jour le meuble entier. Celle du milieu est d'un mètre à peu près moins élevée que les deux autres. La retombée des pleins-cintres, qui couronnent ces baies, repose sur une double série de quatre petites colonnes superposées.

Dans le vaste tympan laissé libre et enchâssé par la grande arcade trilobée, au-dessus des trois

Digitized by Google

baies et dans le même plan vertical, s'arrondit un vaste cercle, dont le diamètre ne mesure pas moins d'un mètre cinquante centimètres. La riche décoration de la circonférence de ce cercle rappelle, par ses motifs, les voussures des arcades inférieures. C'est la place du grand cadran de l'Horloge.

Telle est la partie inférieure du meuble dans son ensemble.

Oserais-je maintenant décrire l'ornementation dans ses détails ? Une simple nomenclature serait déjà trop longue.

Les nombreux panneaux de chaque piédestal sont ornés de besants fleuris ou non fleuris : un rinceau, hardiment indiqué au burin plutôt que sculpté, court à la partie supérieure du soubassement et le couronne.

Les grandes colonnes trois fois annelées avec des rinceaux byzantins ont leurs fûts couverts de damiers, de pointes de diamant, de feuilles de palmier, de torsades diamantées et de billettes.

Pour les chapiteaux, de profondes fouillures en accusent énergiquement les masses et semblent de loin les mouvementer. De près, l'œil peut en admirer tous les détails traités véritablement avec un soin scrupuleux.

Rien n'est riche comme les voussures des grandes arcades : roses, pointes de diamant, dents de scie ou damiers ; toutes ces décorations, formant guirlande, couvrent les plans verticaux ou fuyants

Digitized by Google

de ces voussures. Pour terminer son œuvre, l'architecte a fait courir au sommet, sur l'extrême arête de la plus haute arcade, une magnifique galerie sculptée à jour. Rien n'est gracieux comme ce couronnement, qui se dessine et s'accuse sur un fond toujours sévère et peu mouvementé d'ornements byzantins.

§. II. — Partie supérieure et symbolique du Meuble.

L'Eternité est là, dominant le temps et se préparant à régner sur lui par la justice, après avoir épuisé en sa faveur toutes ses miséricordes.

Sur la grande façade de devant, au plus haut sommet, au sein d'une large gloire peuplée d'anges, apparaît Notre-Seigneur Jésus-Christ, assis sur un arc-en-ciel ; un simple nuage le sépare du temps, il en touche la frontière; son pied repose sur le globe du monde qu'il vient juger. A la droite et à la gauche de Notre -Seigneur, on voit la très-sainte Vierge et saint Joseph, tout à la fois les prémices des élus et leurs plus puissants protecteurs.

Le temps s'échappant de l'Eternité, comme un ruisseau qui dérive d'un fleuve immense, avait rencontré un insurmontable obstacle à deux pas de sa source. Le péché originel avait enlevé à l'humanité, avec son innocence, le droit de vivre, et, par conséquent, la jouissance du temps. Mais

Digitized by Google

un Rédempteur fut donné au monde. Ce Rédempteur, en rachetant l'humanité, refit pour elle la conquête du temps. Aussi, l'image du Christ-Rédempteur est-elle là, au centre des emblèmes des siècles qui s'écoulent, au-dessus du balancier qui en mesure la marche; elle fait pendant à l'image du Christ-Juge qui apparaît à la frontière de l'Eternité. Cette image de Notre-Seigneur est un magnifique portrait en émail, sans égal en grandeur, faisant le fond du maître cadran de l'Horloge.

Ainsi, tandis qu'aux pieds du Christ-Rédempteur du temps, on voit le balancier, par ses oscillations, en mesurer les secondes, les minutes et les heures comme les siècles, des aiguilles, partant du divin cœur du Sauveur des hommes, semblent donner par lui ces secondes, ces minutes, ces heures comme les siècles à tout ce qui existe en dehors de l'Eternité. Une triple cité, assise sur la partie architecturale du meuble, figure le monde. Les hautes murailles de cette cité, ainsi que le donjon qui la domine, sont ornées et défendues par huit grosses tours et par huit demi-tours cantonnées de tourelles et couronnées de machicoulis.

C'est au milieu de cette cité que le fleuve du temps roule ses flots. On peut en suivre le cours d'âge en âge, de siècle en siècle. Au plus haut sommet du donjon apparaît le représentant des siècles adamiques. Noé, sur un plan moins élevé, rappelle l'époque patriarchale. Moïse et les quatre

Digitized by Google

grands prophètes, dominant les tours de la cité, figurent les siècles qui séparent la promulgation de la loi sur le Sinaï d'avec la venue du Messie; et le Christ enfin, environné des quatre évangélistes, indiqués par leurs historiques emblèmes, aux quatre angles supérieurs de la partie architecturale du meuble, représente les siècles chrétiens qui durent encore et ne finiront qu'avec le temps. On aperçoit aux baies ouvertes des cités des représentants de tous les peuples du monde.

Dans ces grandes cités que le fleuve du temps inonde, on naît, on grandit, on travaille et on meurt. Aussi, voit-on sortir d'une grande baie, percée dans une des façades du donjon, à la gauche d'une tour d'ornementation :

1° L'image des premiers jours de la vie, sous la figure d'un enfant qui joue au bilboquet;

2° L'image de la jeunesse : c'est l'enfant devenu grand, qui est tout entier à ses études;

3° Un guerrier armé de toutes pièces, emblème de l'âge mûr;

4° La vieillesse vient enfin, portant péniblement une lourde aumônière pleine d'or que la mort va bientôt lui ravir. Ces différents âges de la vie rentrent dans le donjon par une autre baie qui ouvre à la droite de la tour d'ornementation.

Mais la vie représentée dans son ensemble par ces emblèmes usant ou abusant de sa liberté, comme des grâces de la Rédemption, peut se donner

Digitized by Google

à la vertu ou au vice. Les sept vertus théologales et cardinales sont donc là, sous le regard de l'humanité que le temps emporte, comme autant de divines invitations au bien. La tentation ne saurait être oubliée. Aussi, l'artiste a-t-il placé là les sept péchés capitaux. A l'homme donc de choisir! De la baie par où sortent les âges de la vie, s'échappe à son moment le vice, suivi du démon qui le pousse vers l'enfer. La porte de l'enfer ouvre sur la face latérale gauche du donjon. De l'autre côté, par la baie qui reçoit les quatre âges de la vie à mesure qu'ils s'avancent vers la mort, on voit aussi sortir, à son heure, la vertu suivie d'un bon ange qui joue de la mandoline. Le bon ange accompagne ainsi la vertu jusqu'à la porte du Ciel, qui ouvre sur la face latérale droite du donjon.

Dans la pensée de l'artiste, la vie humaine représente le cours des siècles, et chaque vie est résumée par une heure; chaque âge de la vie dure donc un quart-d'heure, et chaque heure doit être couronnée par un jugement, image du grand jugement qui couronnera les temps.

Notre Seigneur Jésus-Christ, du seuil de l'Eternité, le pied posé sur le globe des mondes, semble donc dire à tout ce qui vit dans le temps : « J'ai le droit de juger, et comme Créateur et comme Rédempteur du temps. » Le droit qui découle de la Rédemption est rappelé par des anges qui portent les emblèmes de la passion. Saint Michel, au

Digitized by Google

sommet du donjon, tient à la main sa balance. Le Christ, usant de son double droit, va donc procéder au jugement.

Le coq, emblème chrétien de tous les réveils douloureux de la conscience, perché au sein du temps, au plus haut sommet de l'archivolte tribolée, va jeter son *garde à vous* à l'humanité tout entière. Devant Dieu, quatre hérauts d'armes divins se tiennent prêts, au premier signe, à dire au monde avec la grande voix de leurs olifants : Le temps n'est plus, l'Eternité commence. Tandis que les actions humaines feront trébucher à droite ou à gauche la balance de saint Michel, par toutes les ouvertures des cités, d'où se sont éloignés tous les personnages représentant l'humanité, s'échapperont des flammes, signe de l'éternelle destruction des mondes, et répondant à cette prophétie chrétienne : Dieu viendra juger les siècles par le feu.

Comme la droite du trône de Dieu est réservée à la vertu, suivant les traditions évangéliques, des rayons de gloire s'inclinent de ce côté vers le temps; et, dans cette partie du meuble, toutes les fleurs de l'ornementation sont épanouies, toutes les figures sont souriantes, tout y respire le bonheur et la vie. A gauche, au contraire, le côté maudit du vice, on voit la foudre qui sillonne les nues et tombe sur les jours voués au mal. Aussi, sur cette autre partie du meuble, n'y a-t-il qu'emblèmes de souffrance et de damnation. Tous les calices des

Digitized by Google

fleurs ont perdu leur corolle; des têtes grimaçantes de douleur y font pendant aux têtes de mort. Il n'y a pas jusqu'aux damiers qui restent sans jetons; la partie est jouée et perdue pour l'Eternité, il n'y a plus d'espérance.

Comme on met un appendice à la fin d'un livre, ou une légende explicative sur l'exergue d'une médaille, ainsi sur la grande façade postérieure du meuble, façade faisant revers à la grande scène dont nous venons d'indiquer les personnages, l'artiste a groupé les intermédiaires humains qui ont provoqué la justice ou bien frayé le chemin à la miséricorde vers le temps. C'est la Très-Sainte Vierge, la Mère du Rédempteur, ayant à ses pieds Adam et Eve épouvantés par le souvenir de leur faute, mais revenant par elle à l'espérance. La pomme et le serpent gisant sur une terre dénudée complètent le tableau.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

MÉCANISME DE L'HORLOGE.

Le meuble que nous venons de décrire, malgré toutes ses splendeurs, n'est pourtant qu'un cadre. Après la description du cadre, il nous reste donc à faire la description du tableau. Après l'écrin doit venir le joyau, après le corps tout naturellement c'est le tour de l'âme, et l'Horloge de M. Vérité est bien le digne joyau de ce magnifique écrin, la belle âme qui fait parler, agir et chanter ce beau corps.

L'Horloge de M. Vérité, large et grande dans ses proportions, admirablement harmonieuse dans la disposition de ses organes, parfaite d'exécution jusque dans les plus petits détails, ravit l'œil qui la contemple; mais elle séduit bien autrement l'intelligence qui l'étudie, par les indications si multipliées qu'elle donne, par les mouvements si variés qu'elle produit, par mille difficultés mathématiquement vaincues, et surtout par son incomparable échappement. Il y a dans cette Horloge deux parties bien distinctes : 1° la cause, principe des effets;

Digitized by Google

2° les effets eux-mêmes. De là, deux chapitres dans cette description.

Le chapitre premier sera consacré au mouvement central, au régulateur proprement dit et aux moteurs secondaires; le chapitre second sera rempli par la description de tous les effets produits immédiatement ou médiatement par les moteurs. Mais avant d'entrer en matière, il nous reste une indication importante à donner au lecteur. Une horloge, comme un instrument de musique, a un véritable diapason suivant lequel elle est accordée. Ce diapason se nomme un calendrier, et, pour l'Horloge de M. Vérité, c'est le calendrier grégorien. Tout le monde connaît l'histoire de ce calendrier. Son fondateur fut Jules César; son réformateur le pape Grégoire XIII.

L'an 45 avant J.-C., Jules César fit commencer l'année civile au 1er janvier, prescrivant qu'à l'avenir on compterait les années par période de quatre; les trois premières, longues de 365 jours, et la quatrième de 366, qui serait bissextile. Relativement aux âges passés, ce calendrier de César était un immense progrès, mais il renfermait une cause d'erreur trop sérieuse pour écarter à tout jamais les intercalations nouvelles. En effet, au XVIe siècle, on s'aperçut que les équinoxes devançaient de dix jours les 21 mars et 21 septembre.

Ce fut le pape Grégoire XIII qui, en 1582, remédia à cette perturbation. Par une Bulle, il

Digitized by Google

abrégea de dix jours l'année 1582, et le cinq octobre devint le quinze. L'harmonie fut rétablie entre l'année et le cours des astres. Mais la cause de l'erreur existait toujours, et dans l'impossibilité de la faire disparaître, il fallait au moins l'amoindrir. Le Pape donc, tout en conservant l'intercalation julienne pour chaque période de quatre ans, la modifia pour les années séculaires. Toutes les années séculaires, d'après la réforme julienne, devaient être bissextiles; il n'y en a plus qu'une sur quatre depuis la réforme grégorienne. Sans doute, cette disposition n'établit encore qu'une harmonie approximative entre l'année et le cours des astres; mais la différence est tellement amoindrie qu'il faudrait une révolution de quatre mille ans pour lui donner la valeur d'un jour, et il sera bien facile de la maintenir dans cette limite, même pour une période de cent mille ans. C'est précisément cette réforme grégorienne qui est, comme déjà nous l'avons dit, le diapason de l'Horloge que nous allons décrire.

ARTICLE PREMIER.

DES MOTEURS.

Il y a dans cette Horloge un moteur central qu'on peut nommer le régulateur général, et quatorze moteurs secondaires.

Digitized by Google

§. Ier. — Du Moteur central et du Régulateur.

Tout régulateur se compose naturellement :

1° D'un poids qui tombe, ou d'un ressort qui se détend;

2° D'un appareil qui régularise ces mouvements. Le poids ou le ressort perpétue le mouvement de l'appareil régulateur, qui, en retour, régularise, lui, les mouvements essentiellement variés du ressort ou du poids. Le poids ou le ressort s'appelle tout naturellement moteur; l'appareil de régularisation se compose toujours de deux pièces qui ont chacune leur nom : la première, c'est le pendule; la seconde, c'est l'échappement.

I. — *Du Moteur proprement dit.*

Le moteur se trouve au milieu de la grande baie de la façade de derrière. On le voit solidement posé sur les cages de deux autres moteurs qui lui servent de piédestal. Pas un mouvement ne se produit dans l'Horloge, nulle indication n'est donnée qui n'émane de ce moteur directement ou indirectement. Sa construction demandait ainsi un soin tout particulier. Afin de diminuer de moitié la pression sur les pivots, la force motrice est divisée en deux : il y a donc deux poids et deux cylindres dans ce moteur. Pour que l'action de la

Digitized by Google

force motrice ne soit pas suspendue, même pendant le remontage, chaque cylindre porte un rochet renfermant un ressort auxiliaire qui entretient le mouvement du rouage tandis qu'on relève les poids. La dernière roue qui se meut sous l'action directe des poids est armée d'un volant, et elle fait fonctionner un remontoir d'égalité, qui lui-même, par un de ses organes, imprime le mouvement à l'échappement.

Au sein du moteur principal existe un mécanisme connu sous le nom de départ. Ce départ, faisant un tour par heure, se compose de deux plateaux posés sur le même axe et dans des plans parallèles.

Le premier, qui reçoit son mouvement du moteur principal, le communique au second à l'aide d'un valet à ressort dont la tête s'engage dans l'une des soixante entailles qui échancrent la circonférence de ce second plateau.

Le second plateau, à l'aide d'un engrenage conique, fixé à son centre, fait rayonner, lui, le mouvement dans toute l'Horloge. Ces deux plateaux marchent donc du même mouvement, enchaînés qu'ils sont par le valet à ressort qui est fixé au premier plateau, et qui a la tête engagée dans l'une des entailles du second. Mais, cela posé, il est facile aussi de comprendre que si, après avoir soulevé la tête du valet, on fait tourner en avant ou en arrière le plateau échancré, de manière à

Digitized by Google

ce que le valet s'engage dans l'entaille de gauche ou de droite, on aura avancé ou retardé d'une minute tous les cadrans, que la révolution de leurs aiguilles se fasse en une heure ou en des milliers d'années.

Ce moteur central communique le mouvement : 1° à toutes les aiguilles chargées d'indiquer l'heure sur plus de vingt cadrans différents ; 2° au soleil et à la lune qui gravitent (1) autour des globes terrestres ; 3° aux aiguilles qui indiquent le temps sidéral ; 4° aux deux planisphères ; 5° au planétaire reproduisant les éclipses du soleil ; 6° aux aiguilles du cadran répétiteur placé derrière l'horloge ; 7° enfin à l'aiguille unique du petit cadran des secondes, posé, pour ainsi dire, sur le parquet de l'Horloge, au-dessous du pendule dont il compte les oscillations.

§. II. — Du Pendule et de l'échappement.

Pour produire tous les effets que nous venons d'indiquer, les deux poids du moteur principal suffiraient ; mais ces deux poids, abandonnés à eux-mêmes, entraîneraient tout le système dans un mouvement désordonné. Il fallait donc, mathé-

---

(1) On verra plus loin pourquoi nous employons cette expresssion contraire aux données de la science.

Digitized by Google

matiquement, ramener leur chute à la marche du temps. De là le pendule, de là l'échappement.

LE PENDULE.

Le pendule avec sa lentille pèse 48 kilogrammes. Chacune de ses oscillations doit mesurer une seconde. Pour obtenir cet effet d'une manière invariable, en dépit de toutes les variations de température, un système parfait de compensation était nécessaire. Le système est double; nous dirons pourquoi tout-à-l'heure. A l'aide de neuf verges, dont cinq sont en acier et quatre en cuivre, la tige du pendule restera invariable, sous toutes les températures, depuis le centre de suspension jusqu'à la partie supérieure de la lentille.

La lentille ne pouvant être attachée à la tige du pendule par son centre, puisque c'est la place réservée par l'artiste à l'échappement, il fallait un système de compensation tout particulier pour elle. Elle est prise, aux deux points extrêmes de son diamètre horizontal, par deux tiges d'acier qui s'élèvent verticalement dans deux cylindres de cuivre, à la partie supérieure desquels elles sont fixées. Les deux cylindres de cuivre, par leur base, reposent sur la dernière barre transversale du système supérieur de compensation. Les deux tiges d'acier et les deux cylindres de cuivre sont si bien harmonisés comme longueur, qu'aucune température ne

Digitized by Google

saurait ni relever, ni faire descendre le centre de la lentille. A l'aide de ce double système de compensation, la longueur du balancier est donc mathématiquement fixe.

ÉCHAPPEMENT.

Le pendule, ainsi prémuni contre les variations de température, ne saurait l'être contre les résistances de l'air, qu'il doit nécessairement vaincre, et qu'il ne peut vaincre qu'en perdant de son mouvement. De plus, le balancier a un service à rendre : il faut qu'il régularise la chute des poids et la marche du moteur central. Or, il faut qu'il remplisse cet office sur la chute des poids, et que ces poids, à leur tour, lui rendent ce qu'il peut perdre de mouvement par la résistance de l'air, tout en conservant l'isochronisme parfait de ses oscillations. Nous touchons là au véritable fleuron, à l'âme de l'Horloge de M. Vérité.

Un petit galet mobile en acier occupe le centre de la lentille évidée, et fait corps avec elle à l'aide de la tige de cuivre qui le supporte. Au-dessus de ce galet, et sur la ligne verticale qui passe par son centre quand il est au repos, se trouve une petite masse pesant à peu près un gramme, et portée à l'extrémité d'un levier mobile mais enclanché. Quand le pendule en mouvement passe sur la verticale, le petit galet en acier qui est à

Digitized by Google

son centre, et fait corps avec lui, soulève la petite masse qui lui est superposée, d'une quantité presque inappréciable, mais suffisante pour déclancher le levier qui la supporte. Abandonnée alors à elle-même, cette petite masse tombe en vertu de son poids, en glissant et en appuyant sur la partie supérieure du galet d'acier, soit à droite, soit à gauche. Puis, abandonnant le galet qui s'éloigne, elle tombe dans le vide. A l'extrémité de cette chute libre, en vertu de son poids et de sa vitesse acquise, elle déclanche un nouveau levier, qui permet au poids du remontoir d'égalité de la relever elle-même, en enclanchant son levier dans sa position première. Le galet en acier n'a donc plus qu'à revenir avec le pendule pour toucher une seconde fois la masse, la faire tomber à nouveau pour en recevoir une impulsion nouvelle, tandis qu'elle se fera relever d'elle-même encore en tombant un peu plus bas. Il est facile de comprendre que, par cette admirable combinaison, les poids du moteur principal, dont l'action est fatalement variable, n'agissent plus directement sur le balancier pour perpétuer son mouvement. Ils n'ont plus pour mission que de relever le poids du remontoir d'égalité toutes les quatre secondes, et le poids du remontoir d'égalité relève à chaque seconde la petite masse qui, en tombant et en glissant sur la droite ou sur la gauche du galet, perpétue le mouvement du pendule. Or, cette pe-

Digitized by Google

tite masse a toujours le même poids, et son action est toujours mathématiquement la même sur le petit galet, à chaque oscillation. Donc, toute cause qui pourrait troubler l'isochronisme des oscillations a disparu. Avec ce système, le pendule, pour recevoir cette impulsion, n'a plus qu'un seul effort à faire : il doit soulever la petite masse afin qu'elle soit déclanchée; mais cet effort est toujours rigoureusement le même, puisque la masse à soulever est toujours la même et toujours placée dans les mêmes conditions. M. Vérité a donc réalisé, dans les limites du possible, l'échappement à force constante.

D'un autre côté, le pendule, sans aucun nouveau danger pour son isochronisme, régularise la chute des poids, non par lui-même, mais par la petite masse qu'il rend libre. Cette masse, après avoir imprimé au balancier son impulsion, en vertu de son propre poids tout seul, fait faire un pas, toutes les secondes, au remontoir d'égalité, et celui-là un pas à tout le mécanisme du moteur principal, toutes les quatre secondes, par le remontoir.

Le problème à résoudre était donc celui-ci : séparer, isoler complètement les poids d'avec le pendule, tout en conservant pourtant leur action réciproque, afin que le mouvement du pendule soit perpétué sans trouble possible dans son isochronisme, et que son isochronisme soit la mesure

Digitized by Google

mathématique de la chute des poids. M. Vérité a trouvé la solution parfaite de ce difficile problème, qui a été l'objet de tant d'études et d'essais depuis Huyghens jusqu'à nos jours. Elle est là cette solution qui vit, agit et parle dans cette Horloge.

§ III. — Des moteurs secondaires.

Autour de ce moteur principal que nous venons de décrire, il y a quatorze moteurs secondaires. Des poids les font marcher, de simples volants modèrent leur mouvement. Pour deux de ces moteurs seulement, on a combiné le volant avec le pendule conique, afin d'ajouter à la modération un peu plus de régularité dans leur mouvement. Inutile de dire que ces moteurs secondaires, quant au mouvement, sont parfaitement indépendants du moteur principal; mais, quant au moment de leur action, c'est lui qui l'indique. Les moteurs secondaires ne marchent pas par le moteur principal; mais ils ne se mettent en mouvement qu'à son ordre. Tout point d'arrêt du moteur principal serait une véritable paralysie pour tous les autres moteurs.

Digitized by Google

ARTICLE DEUXIÈME.

INDICATIONS DONNÉES ET MOUVEMENTS OPÉRÉS.

Après avoir étudié les principes multiples du mouvement, comme après avoir admiré la cause unique qui commande et règne au sein de ce mécanisme si vaste, il nous reste à indiquer et à expliquer brièvement les effets qui en découlent. Les cadrans se présentent par groupes, à chaque baie du meuble. Notre marche est donc toute tracée : nous irons de groupe en groupe, les indiquant par l'ouverture qui les enchâsse, pour nous élever ensuite jusqu'à la grande scène du haut.

§ Ier. — Grande façade de devant.

1° Grand cadran supérieur.

Ce cadran, dont nous avons déjà dit la décoration, est destiné à donner les minutes et les heures du temps moyen; les aiguilles en sont directement conduites par le moteur central, et leur mouvement est l'expression la plus simple de sa marche. Un large bandeau, qui forme comme la circonférence du cadran, est divisé en vingt-quatre cartouches, sur lesquels se trouvent indiquées les

Digitized by Google

vingt-quatre heures du jour. Le nombre douze est remplacé sur le cartouche le plus inférieur par le mot midi, et le mot minuit remplace le chiffre douze sur le cartouche le plus élevé. L'aiguille des minutes fait une révolution complète toutes les heures et compte soixante minutes; l'aiguille des heures une révolution complète en un jour, c'est-à-dire en quatorze cent quarante minutes, mesure exacte d'un jour moyen. On entend par le temps moyen, la division uniforme de tous les jours de l'année; ce qui donne pour chacun quatorze cent quarante minutes.

Le temps vrai, ou le jour réel qui s'écoule entre deux levers successifs de soleil, a tantôt plus, tantôt moins de quatorze cent quarante minutes; la différence peut s'élever jusqu'à trente-deux minutes.

2° Baie du milieu.

Nous trouvons là un groupe de douze cadrans : l'un est central, les onze autres s'arrondissent autour de lui, à la partie supérieure de la baie, pour retomber ensuite en guirlande à sa droite et à sa gauche.

N° 1er.

1° Le cadran central.

Ce cadran donne toutes les indications du comput ecclésiastique. Cinq aiguilles partent de son centre,

Digitized by Google

et chacune d'elles est le rayon de l'un des cinq cercles concentriques dessinés à sa surface.

1° Sur le cercle le plus grand, on trouve en chiffres les vingt-huit indications du cycle solaire;

2° Sur le deuxième cercle, la série des lettres dominicales;

3° Sur le troisième cercle, les dix-neuf indications du nombre d'or;

4° Sur le quatrième cercle, les épactes;

5° Sur le cinquième et dernier cercle, sont enfin les quinze chiffres de l'indiction romaine.

Chaque indication est en émail blanc et ressort admirablement sur le fond bleu du cadran. Chaque aiguille est terminée par un anneau d'or, et tous les ans, au 31 décembre, à minuit, c'est de cet anneau d'or que chaque aiguille enchâsse le chiffre ou la lettre qu'elle doit désigner toute l'année. La fonction de chaque aiguille est d'ailleurs inscrite sur son anneau d'or. Quelques rapides détails sur les indications ne déplairont peut-être pas au lecteur.

1° *Le cycle solaire*, qui a commencé neuf ans avant notre ère, est une suite de périodes de vingt-huit années, au bout desquelles l'année recommence toujours par les mêmes jours.

2° *La lettre dominicale* : on a donné comme signe à chaque jour de la semaine, une des sept premières lettres de l'alphabet, de manière à ce que A indique le premier janvier dans le dévelop-

Digitized by Google

pement du cycle solaire. Il suit de là que la même lettre indique le même jour pendant toute une année, et qu'il y a une lettre qui, chaque année du cycle solaire, indique le dimanche. Le cycle solaire se composant d'une période de vingt-huit ans, il y a donc une lettre dominicale pour chacun de ces ans; c'est précisément cette lettre que la deuxième aiguille enchâsse tous les ans dans son anneau d'or. Pour les années bissextiles, il y a deux lettres dominicales : la première sert depuis le 1er janvier jusqu'à la fin de février; la seconde, depuis le 1er mars jusqu'au 31 décembre.

3o *Le nombre d'or.* Comme il y a un cycle solaire, il y a aussi un cycle lunaire : ce cycle comprend une période de dix-neuf années lunaires, c'est-à-dire 235 lunaisons, à l'expiration desquelles les nouvelles et pleines lunes arrivent aux mêmes époques, par la raison bien simple que le soleil et la lune sont de nouveau, par rapport à la terre, dans les mêmes points du Ciel que dix-neuf ans auparavant. L'existence de ce cycle fut constatée 433 ans avant J.-C. par l'astronome Méton. Les Grecs, dans leur enthousiasme, l'inscrivirent en chiffres d'or sur les murailles de leurs temples; de là le *nombre d'or*. La troisième aiguille, par le chiffre qu'elle enchâsse de son anneau d'or, dit donc l'âge du cycle lunaire.

4o *Epactes.* On entend par épactes le nombre de jours qu'il faut ajouter à une année lunaire pour

Digitized by Google

qu'elle puisse égaler l'année solaire qui lui correspond. Le nombre donne l'âge de la lune au 1er janvier de chaque année solaire. Comme la différence entre les deux années est de onze jours, les épactes augmentent chaque année de onze jours, jusqu'à ce qu'elles dépassent vingt-neuf, nombre des jours du mois lunaire. On suppose alors l'intercalation d'un mois lunaire. Ce cycle des épactes expire avec le cycle lunaire de dix-neuf ans, pour recommencer ensuite. Le chiffre enchâssé par l'anneau de la quatrième aiguille dit donc l'âge que la lune avait au 1er janvier de la présente année.

5° *Indiction romaine.* C'est une période de quinze ans. A l'époque de la réforme Julienne, cette indiction servait à fixer la promulgation de certains édits relatifs aux impôts. Sous Constantin et ses successeurs, l'indiction servait à dater les actes des tribunaux, comme encore aujourd'hui elle sert à dater les actes de la cour romaine. Le chiffre enchâssé par la cinquième aiguille dit donc en quelle année on se trouve de la révolution présente de quinze années.

Tous les effets sont produits par le moteur n° 5; voici comment. Le moteur principal fait directement marcher la roue annuelle placée derrière le comput ecclésiastique : cette roue annuelle porte sur son axe un limaçon saillant sur lequel repose un levier en rapport avec la détente du

Digitized by Google

moteur secondaire n° 5. Ce levier, insensiblement soulevé pendant toute la durée de l'année, est tout-à-coup abandonné à lui-même, quand minuit sonne au 31 décembre. Le moteur n° 5 se met alors en mouvement, et par une transmission convenablement disposée, toutes les aiguilles du comput prennent la place qu'elles doivent occuper pendant toute la nouvelle année : le mouvement est donc accompli par le moteur secondaire, mais c'est le moteur principal qui en donne le signal et la mesure.

N° 2.

Le cadran qui est au-dessus de celui que nous venons de décrire, et sur la même verticale, donne l'heure du jour sidéral. Un jour sidéral est mesuré par deux passages successifs de la même étoile au méridien. Ce jour, suivant la mesure du temps moyen, ne comprend que 23 heures 56 minutes 4 secondes 0907 : il est d'une uniformité parfaite. L'accélération du jour sidéral sur le jour solaire est donc, par chaque vingt-quatre heures, de 3 minutes 55 secondes 9093. A l'aide d'un calcul bien simple, il serait facile de constater que le cadran indiquant l'heure du jour sidéral ne sera qu'une seule fois tous les ans d'accord avec le cadran qui marque le temps moyen. On nous pardonnera d'indiquer ici le moyen sûr, non pas de mettre à l'heure,

Digitized by Google

mais de régler la marche de toute pendule et de toute montre. Il suffit de remarquer l'heure qu'indique l'instrument au passage d'une étoile derrière deux points fixes, comme les extrêmes pointes d'un pignon et d'un clocher. Le lendemain, au passage de l'étoile au même point, si le chronomètre est en retard de 3 minutes 56 secondes, sa marche est parfaite.

N° 3.

Le cadran n° 3 donne l'équation solaire, c'est-à-dire jour par jour la différence qui existe entre le temps vrai ou le temps mesuré par deux passages successifs du soleil au méridien, et le temps moyen ou le jour mesuré par une montre bien réglée. Les jours vrais, en d'autres termes les jours mesurés par le soleil, sont loin d'être égaux, et ils ne sont en parfait accord avec le temps moyen que quatre fois l'an, savoir : le 15 avril, le 15 juin, le 1er septembre et le 24 décembre. En dehors de ces quatre époques, les jours vrais sont parfois en avance sur le temps moyen de 16 minutes 1/2, et en retard aussi parfois de 14 minutes 1/2. L'aiguille de l'équation solaire indique donc, jour par jour, le nombre de minutes qu'il faut retrancher du jour moyen, ou y ajouter, pour avoir le jour solaire ou le jour vrai.

Digitized by Google

N° 4.

Le cadran n° 4 indique la déclinaison du soleil. Tout le monde sait que, quand le soleil passe au méridien d'un lieu quelconque, il marque midi pour ce lieu; mais tout le monde sait aussi que le soleil ne traverse jamais un même méridien, deux fois de suite, sur le même point. Tantôt il s'élève dans la direction du pôle austral, tantôt il s'incline vers le pôle nord. L'arc que le soleil pointe ainsi sur le méridien mesure 23° 27' 30". Du 20 au 21 juin, le moment où le soleil arrive à l'apogée de son élévation, s'appelle le solstice d'été. Au contraire, le 21 décembre, il arrive à l'extrême frontière de sa déclinaison, c'est-à-dire à son périgée, et ce moment se nomme le solstice d'hiver. L'aiguille du cadran de déclinaison, en parcourant un arc de 23° 27' 30", indique donc pour chaque jour de l'année la déclinaison australe ou boréale du soleil, et marque les solstices en touchant l'une ou l'autre des extrémités de cet arc.

N°s 5 et 6.

Les deux cadrans n° 5 et n° 6 indiquent la longueur des jours et la longueur des nuits. L'inégalité des jours et des nuits est la conséquence

Digitized by Google

nécessaire de la déclinaison du soleil et de ses positions variées par rapport à l'équateur. Pour indiquer cette conséquence au moment où elle s'accuse le mieux, nous dirons que, pour les pôles, au solstice d'été, le soleil reste pendant vingt-quatre heures sur l'horizon; la nuit a disparu. Au solstice d'hiver, au contraire, le soleil n'apparaît plus sur l'horizon : on compte vingt-quatre heures de nuit. Sur tous les autres points du globe, si la même cause ne fait pas, à un moment donné, disparaître complètement le jour ou la nuit, elle les fait, du moins, varier de longueur.

Les deux cadrans nº 5 et nº 6 comptent chacun vingt-quatre divisions qui correspondent aux vingt-quatre heures du jour. Tous les jours, à minuit, les aiguilles se déplacent, et la première indique, sur le cadran nº 5, la longueur du jour qui va commencer, et la seconde, sur le cadran nº 6, la longueur de la nuit qui le suivra.

Nº 7.

Le cadran nº 7 indique les saisons. La circonférence de ce cadran est divisée en quatre : chaque division indique une saison, et l'aiguille entre dans l'une de ces quatre divisions, ou en émerge, alors que commence ou finit la saison à laquelle elle correspond.

Digitized by Google

N° 8.

Le cadran n° 8 porte sur sa circonférence les douze signes du zodiaque. Ce cadran suit la terre dans son mouvement et indique mois par mois son entrée dans un signe, puis sa sortie.

N°s 9 & 10.

Ces cadrans indiquent : l'un, l'heure et la minute du lever du soleil, et l'autre, l'heure et la minute de son coucher.

N°s 11 & 12.

Ces cadrans sont chargés d'indiquer, l'un, le jour de la semaine; l'autre, la planète qui donne à ce jour son nom. Tous les jours, à minuit, chacune de ces aiguilles avance d'un degré.

3e Baie de gauche.

N° 1er.

Le cadran n° 1er n'indique plus seulement les heures du lever et du coucher du soleil, mais il reproduit le phénomène lui-même. Ce cadran porte, à sa plus grande circonférence, une couronne d'or sur laquelle sont chiffrées les douze

Digitized by Google

heures du jour et les douze heures de la nuit, temps moyen. Un soleil gravite sur cette couronne d'or et en fait le tour en vingt-quatre heures. Au centre du cadran se dessine, sur fond bleu, et ressort en relief, un globe terrestre, armé d'un anneau d'or, représentant le méridien de Beauvais. Un style s'échappe de ce méridien, dans son plan, et il s'en va, indiquant de son extrémité le point d'intersection de ce méridien avec la course du soleil.

Deux bandes métalliques mobiles partent du globe terrestre et se prolongent horizontalement à sa droite et à sa gauche : ces deux tiges figurent l'horizon du côté du lever et du coucher du soleil. Au-dessus et au-dessous du globe terrestre, sur le cadran lui-même, deux lignes d'or figurent les solstices d'été et d'hiver. Tandis que le soleil gravite autour du cadran, les deux tiges qui figurent l'horizon s'inclinent ou se relèvent, selon les jours et les saisons, vers le solstice d'été ou le solstice d'hiver. Quand les deux tiges horizons touchent le solstice d'été, on peut voir le soleil se lever à quatre heures du matin, en franchissant la première tige, pour ne plus franchir la seconde, et ne se coucher que vers huit heures du soir. Quand les deux tiges horizons sont sur une même ligne, on voit alors le soleil se lever à six heures du matin, pour se coucher à la même heure le soir : c'est le moment de l'équinoxe. Quand les deux

Digitized by Google

tiges horizons se sont relevées jusqu'à toucher la ligne du solstice d'hiver, le soleil ne se lève plus qu'à huit heures du matin pour se coucher à quatre heures du soir.

L'observateur peut donc, sur ce seul cadran, assister tous les jours au lever et au coucher exact du soleil, suivre sa progression vers les solstices d'hiver et d'été, constater l'époque exacte de ces solstices, tout aussi bien que le moment de l'équinoxe. Un autre phénomène est encore reproduit sur ce cadran.

Le soleil parcourt, avons-nous dit, le cadran en vingt-quatre heures; ce n'est pas l'expression de sa marche vraie, mais l'expression de sa marche de convention suivant les calculs du temps moyen. Donc, tous les jours, à midi, le soleil se trouve exactement sur le chiffre 12 des heures du jour. Ainsi devrait-il toujours passer sur la pointe du style, qui n'est que le prolongement jusqu'au soleil du méridien de Beauvais; mais le globe terrestre se déplace tous les jours avec son méridien, de la quantité voulue pour que son style aille au devant du soleil dans sa marche, ou s'en éloigne afin qu'il ne soit croisé par lui que juste selon l'équation du jour. Evidemment, il faut oublier les procédés dans ce cadran, et ne voir que les phénomènes indiqués : si la manière de faire n'est pas celle de la nature, au moins les effets produits sont parfaitement exacts.

Digitized by Google

N° 2.

Ce cadran, qui est, à lui tout seul, un groupe de neuf cadrans, donne, par le grand cadran du milieu, l'heure du méridien de Paris, et par les huit autres, qui lui font couronne, l'heure de huit grandes villes dont la longitude est à l'ouest de notre capitale. Chaque cadran porte le nom de la ville dont il indique l'heure, et le degré de cette ville est indiqué par une petite inscription en émail.

N° 3.

Sur un grand cercle doré, qui forme la circonférence de ce cadran, sont inscrits les douze mois de l'année; chaque mois est subdivisé selon le nombre de ses jours, et chaque jour porte sa date et le nom de son saint. Une longue aiguille, portée sur un axe placé au centre du cadran, indique, de sa flèche, le mois, le quantième du mois et le saint que, ce jour-là, l'Eglise honore. Cette aiguille reste immobile pendant vingt-quatre heures; elle n'opère son mouvement qu'à minuit. La journée étant terminée, elle se hâte d'en indiquer une autre. Mécaniquement, un jour est supprimé au mois de février pour toutes les années communes, et, mécaniquement aussi, l'aiguille lui en donne

Digitized by Google

vingt-neuf à chaque année bissextile. L'artiste a prévu jusqu'aux bissextiles séculaires, et les suppressions qu'elles exigent seront aussi mécaniquement faites. Trois petits cadrans, groupés autour du centre de celui que nous venons de décrire, indiquent : le premier les phases de la lune, le deuxième son âge, le troisième l'heure moyenne de son passage au méridien de Beauvais.

4° *Baie de droite.*

N° 1er.

Ce cadran porte, lui aussi, sur sa plus grande circonférence, une couronne d'or divisée en vingt-quatre parties qui correspondent aux douze heures du jour et aux douze heures de la nuit. La lune, portée à l'extrémité d'une longue tige et mobile sur ses deux points d'attache, gravite sur le cercle ainsi divisé. Au centre du cadran, on voit un globe terrestre accompagné de son anneau d'or, image du méridien de Beauvais : un style partant de cet anneau d'or et se prolongeant dans son plan, vient couper le cercle sur lequel gravite la lune. Cet ensemble permet : 1° d'observer les différentes phases de la lune; 2° de constater le moment vrai de son passage au méridien de Beauvais. Pour faire com-

Digitized by Google

prendre les effets, nous commencerons nos observations par la Néoménie. La lune est alors tellement disposée par rapport à la terre qu'elle ne lui présente que son hémisphère ombrée. Le style, au prolongement du méridien terrestre, est alors sur le chiffre douze des heures du jour, et la lune le croise sur ce point. Voilà pour l'observation du premier jour. Le jour suivant, la terre et son méridien s'étant déplacés de la quantité convenable, la lune ne croisera plus le méridien de Beauvais que 46 minutes 48 secondes plus tard; le surlendemain, ce retard sera doublé : il en sera ainsi pour chaque jour, pendant une lunaison complète. D'un autre côté, la lune, avons-nous dit, est mobile sur ses deux points d'attache, et, tout en gravitant autour du cadran, elle opère un mouvement de rotation sur elle-même, de telle sorte que le jour qui suit son passage au méridien de Beauvais à midi, tout en constatant son retard de 46 minutes 48 secondes, on aperçoit aussi qu'elle présente à la terre un petit filet de son hémisphère de lumière, filet qui s'agrandira tous les jours jusqu'à la pleine lune, c'est-à-dire, à l'époque où elle passera au méridien de Beauvais à douze heures de la nuit en ne montrant plus à la terre que sa moitié lumineuse.

Digitized by Google

N° 2.

Ce cadran forme, lui aussi, un groupe de neuf cadrans, l'un central, et les huit autres lui faisant couronne. Chacun de ces cadrans donne l'heure et la minute de neuf grandes villes qui sont à l'est de Paris. Le cadran central indique l'heure de Rome. Chaque cadran porte le nom de la ville à laquelle il est consacré, et un petit indicateur d'émail dit sur quel degré est placée chacune de ces villes.

N° 3.

Un large cercle doré enchâsse ce cadran; ce cercle est divisé en douze parties dont chacune correspond à l'un des mois de l'année. Chaque division est subdivisée en autant de parties que le mois qu'elle représente compte de jours. Chaque jour porte sa date, le nom de son saint, ou d'une fête fixe. Le cercle ainsi divisé n'est qu'une sorte de calendrier perpétuel sur lequel, chaque année, les fêtes mobiles viendront d'elles-mêmes s'accuser chacune à son jour. Tout le monde sait qu'un certain nombre de fêtes relèvent de la grande solennité de Pâques : or tout le monde sait aussi que cette fête n'a point de jour fixe. Le concile de Nicée a décidé qu'elle serait toujours célébrée le premier

Digitized by Google

dimanche qui suit l'équinoxe du Printemps. Il en résulte qu'elle ne saurait jamais être célébrée avant le 22 mars, ni après le 25 avril : mais son jour varie tous les ans entre ces deux extrêmes.

Mobile entre ces deux limites, la fête de Pâques entraîne dans sa mobilité toutes les autres fêtes qui dépendent d'elles.

L'écart entre les fêtes de Pâques successives, ne sauraient jamais dépasser trente-cinq jours; mais il s'en faut que cet écart se produise d'une manière régulière d'une Pâque à l'autre.

La loi de cette périodicité, si elle existe, n'est très-probablement pas encore connue. Aussi M. Vérité n'a-t-il point établi son mécanisme pour indiquer chaque année la fête de Pâques avec son ensemble de fêtes mobiles pour toute la durée des siècles, mais seulement pour une période de 300 ans. A l'expiration de ce terme, une modification bien simple suffira pour permettre à ce cadran de reprendre ses fonctions pour trois siècles encore.

Autour du centre de ce grand cadran, trois autres petits cadrans se dessinent sur son fond bleu. Tous les trois sont munis de guichets. Le premier de ces cadrans indique l'âge du monde d'après Moïse; le deuxième indique le millésime de l'année courante, et il dit si cette année est commune ou bissextile; le troisième enfin, indique le siècle courant, et il dit s'il est bissextil ou non.

Digitized by Google

Toutes les indications données par le calendrier restent fixes pendant un an; mais au 31 décembre, à minuit, le mécanisme se met en fonction : toutes les fêtes mobiles se déplacent pour venir se fixer aux jours où elles doivent être célébrées pendant l'année qui commence. Une unité s'ajoute au millésime de l'année ; si le chiffre des unités est neuf, il disparaît pour faire place au zéro, et une unité s'ajoute au chiffre des dizaines; ainsi de suite. Le chiffre dix-neuf, qui indique le siècle courant, restera immobile, lui, jusqu'au 31 décembre 1899. Il en est de même du mot bissextil pour les années comme pour les siècles : il ne remplace le mot *commun* ou *commune*, au 31 décembre, qu'après les périodes voulues d'années et de siècles.

§ II. — Façade latérale de droite.

N° 1er.

Ce cadran est consacré à la reproduction des éclipses de soleil (l'artiste, à dessein, a négligé les éclipses de lune; ce phénomène s'accomplissant la nuit, aurait toujours été sans spectateurs).

Le soleil est au centre du cadran avec ses douze rayons ; la terre gravite toute seule autour de lui

Digitized by Google

accompagnée de son satellite, et fait sa révolution en trois cent soixante-cinq jours cinq heures quarante-huit minutes quarante-huit secondes. La lune, tout en suivant la terre dans son mouvement de projection autour du soleil, exécute autour de ce centre qui l'entraîne, le mouvement qui lui est propre. Sur ce cadran, comme dans la nature, quand la lune est placée entre la terre et le soleil, et quand d'ailleurs elle se trouve dans ses nœuds, ou à peu près, elle tourne sa partie obscure vers la terre et cache le soleil à une partie de notre globe. De là les éclipses partielles ou totales de soleil.

N° 2.

Un artiste distingué, M. Thierrée, de Beauvais, a bien voulu, pour être agréable à Monseigneur, peindre le mont Saint-Michel et les flots qui l'avoisinent. Le ciel et la mer sont mobiles dans le paysage. Le ciel, lentement marche de l'orient à l'occident, et ramène ainsi successivement au-dessus du port tous les aspects de la tempête et du beau temps. Avec la tempête, la mer devient houleuse, et flots et navires s'agitent violemment; mais quand, en haut, le ciel devient sereiu, le calme aussi se rétablit en bas, et les

Digitized by Google

flots ne font plus que bercer les navires qu'ils portent. Ces mouvements sont produits par le moteur n° 7, à pendule conique. Moins la peinture, qui est admirablement soignée, c'est un peu de décor et de mise en scène au milieu de tout un monde d'œuvres de précision. La partie mathématique de ce cadran, c'est la reproduction du phénomène des marées comme elles ont lieu exactement à la même heure qu'au port de Saint-Michel. La mer s'élève pendant un quart de jour lunaire, pour se retirer ensuite pendant le même espace de temps; on voit alors la plage et les rochers se découvrir jusqu'aux extrêmes frontières de la basse mer, et puis les flots remontent. Tout le monde sait que le niveau n'est pas le même entre deux marées successives : on peut suivre ce phénomène sur le cadran, et voir le niveau s'élever ou s'incliner peu à peu suivant l'âge de la lune.

Au-dessous des derniers flots, un tout petit cadran a trouvé place. Tous les jours, à minuit, les deux aiguilles indiquent l'heure exacte de la pleine mer de la journée. C'est le moteur n° 15 qui commande les deux aiguilles et donne aux marées leur amplitude. Le mouvement de va-et-vient est imprimé aux flots par le moteur n° 7, à balancier conique.

Digitized by Google

N° 3.

Ce cadran se compose de deux parties : l'une fixe, l'autre mobile. La partie fixe présente d'abord un grand cercle divisé en vingt-quatre heures, temps moyen; puis un écran dans lequel une partie évidée indique l'horizon pour tout observateur au zénith de Beauvais : un fil de soie accuse le méridien de cette ville.

La partie mobile est un grand cercle sur lequel on a dessiné la carte céleste. Pour ne parler que du planisphère boréal, il comprend quatre-vingt-six constellations, quatre mille étoiles parfaitement graduées depuis la première jusqu'à la sixième grandeur inclusivement, et réparties en douze séries d'éclat différent, cinq à six cents amas d'étoiles et nébuleuses, la voie lactée dessinée d'après nature, etc., etc.

Le planisphère fait une révolution en un jour sidéral, et on ne peut l'observer que par l'espace elliptique évidé dans l'écran.

Ce planisphère entraîne dans son mouvement un cercle que l'on aperçoit dans l'étroit espace circulaire laissé libre entre le grand cadran qui porte les heures du jour et l'écran. Ce cercle est divisé, comme l'année, en mois et en jours.

Les indications que l'on peut relever sur ce cadran sont :

Digitized by Google

1° L'aspect du ciel à chaque heure et à chaque minute du temps moyen;

2° Le lever, le passage au méridien de Beauvais, et le coucher de chaque étoile;

3° Le temps pendant lequel chaque étoile restera sur l'horizon, et puis le temps de son absence (la première observation se lit sur l'écran, à l'endroit du lever; la seconde, sur le même écran, à l'endroit du coucher).

4° Les étoiles circompolaires qui sont comprises dans le cercle de perpétuelle apparition, etc. etc.

M. Léon Fenet est l'auteur de ces deux planisphères. Ce jeune artiste de la manufacture impériale a fini par devenir un savant sérieux en astronomie, par la voie des études d'agrément. Par un véritable prodige de patience et de soins, il a trouvé le moyen de conserver à son travail, en dépit de ses proportions infiniment petites, une exactitude véritablement mathématique.

§ III. — Façade latérale gauche.

N° 1.

Ce cadran renferme un planétaire suivant le système de Copernic. Le soleil est au centre : douze rayons d'or s'échappent de cet astre et s'en vont vers la circonférence du cercle, chacun vers un

Digitized by Google

des signes du zodiaque. Six planètes gravitent autour du soleil : la première, en commençant par la plus rapprochée du soleil, c'est Mercure, qui parcourt son orbite en 88 jours à peu près; la deuxième c'est Vénus, la plus belle de toutes; elle accomplit sa révolution entière autour du soleil en 225 jours; la troisième c'est la terre; elle met, elle, 365 jours 5 heures 48 minutes 48 secondes à décrire son ellipse autour du soleil; la quatrième c'est Mars; la cinquième Jupiter, et la sixième Saturne : ces trois dernières sont dites *supérieures*, parce qu'elles sont, par rapport au soleil, au-delà de la terre. Elles accomplissent leur révolution, la première en 687 jours, la deuxième en 4330 jours, et la dernière en 10747 jours. Mercure ne fera donc sur ce cadran qu'un tour tous les vingt-huit ans, à peu près. Plusieurs de ces planètes sont accompagnées de leurs satellites; mais ces satellites ne sont là qu'à l'état rudimentaire. En effet, ils touchent presque à l'infiniment petit.

N° 2.

Ce cadran reproduit les mêmes phénomènes que le cadran n° 2 de la façade latérale droite; le paysage seul a changé. On y reconnaît le port de Jersey, et le château de Montorgueil.

Digitized by Google

N° 3.

Ce cadran est l'exacte reproduction du cadran n° 3 de la baie latérale droite; il est destiné absolument aux mêmes observations : seulement la scène a changé, et ces observations se font sur le ciel austral, au nadir de Beauvais. Il contient 100 constellations, environ 4,000 étoiles et 500 amas d'étoiles et nébuleuses.

§ IV. — Cités et Donjons.

Nous trouvons là les sonneries et les statues.

SONNERIES.

Ce sont les moteurs nos 2 et 3 qui font parler les sonneries; il sont eux-mêmes commandés directement par le moteur principal. Un seul coup de cloche, donnant l'*ut*, indique le premier quart de l'heure; deux coups, donnant *ut, mi,* indiquent le deuxième quart; trois coups, donnant *ut, mi, sol,* indiquent le troisième quart; l'accord parfait *ut, mi, sol, ut,* dit que l'heure est accomplie. Une cloche donnant le *sol* à une octave en dessous de celle des timbres dont nous venons de parler, compte les heures.

Digitized by Google

STATUES.

1° Le moteur n° 9, commandé par le départ, fait sortir du donjon un des quatre âges de la vie, en commençant par l'enfance, à la sonnerie de chaque quart.

2° Le moteur n° 4, commandé directement par le moteur principal, un instant avant la sonnerie de l'heure, fait chanter trois fois le coq au milieu d'un ensemble de mouvements, imitant la nature aussi parfaitement que possible.

3° A peine le dernier coup de l'heure a-t-il retenti, que le moteur n° 13, commandé, lui aussi, par le départ, fait lever la main du Christ, qui, d'un signe de tête, donne à ses anges l'ordre d'annoncer le jugement.

4° A ce moment, les moteurs n° 9, 11, 12 et 14, se donnent ou se renvoient le mouvement tour à tour ou simultanément, par deux ou par trois, et toute la scène du jugement dernier s'accomplit.

L'œil suit avec peine tous ces mouvements : pour la plume, elle se refuse à les décrire.

Sur le moteur principal, on peut voir un commutateur électrique que fait marcher le remontoir d'égalité, et qui, toutes les quatre secondes, ferme un courant voltaïque. Ce courant permettrait à

Digitized by Google

M. Vérité, par l'application de l'une de ses plus merveilleuses découvertes, d'enchaîner mathématiquement à la marche de son régulateur, toutes les horloges de Beauvais, sans rien changer à leur mécanisme.

Ce système fonctionne déjà, depuis longtemps, dans plusieurs localités et établissements importants, et principalement à l'Observatoire Impérial de Paris.

Digitized by Google

Nous croyons faire acte de justice en nommant ici les artistes qui ont le plus largement concouru à l'édification de cette horloge.

Pour la partie mécanique, M. Aug. Beaudouin, chef d'atelier de M. Vérité.

Pour la statuaire, M. Constanciel, élève de l'école des Beaux-Arts, à Paris.

Pour la décoration, le Frère Arthème, secondé par M. Lenormand, peintre-décorateur à Beauvais.

Nous devons nommer aussi M. Fontaine, de Beauvais, qui a exécuté, avec un talent remarquable, une partie des sculptures.

Digitized by Google

BEAUVAIS,
Imprimerie de D. PERE, imprimeur de l'Evêché.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

werden, dass m in das Loth von M und m n in die Vertikalebene M N kommt, so kann dieser Forderung entweder durch eine beiläufige Aufstellung des Tisches nach dem Augenmasse und successives Verbessern dieser Aufstellung, oder auch durch ein systematisches Vorgehen entsprochen werden, wenn man zunächst auf dem Blatte dessen Durchschnittspunkt p mit der Drehaxe des Messtisches sucht, dann den Winkel p m n = w und die Länge des Schenkels m p = l misst und hierauf am Boden den Winkel w von M aus an die Gerade M N legt, wodurch sich mit Hilfe von l der Punkt P ergibt, über dem der Drehpunkt p lothrecht aufzustellen ist. Hat man diese Aufstellung und die Horizontalstellung des Tisches zu Stande gebracht, so kann derselbe ohne jede Verschiebung, lediglich durch grobes und feines Drehen, nicht bloss in Bezug auf m centrirt, sondern auch in Bezug auf m n orientirt werden, wie leicht einzusehen ist.

Eine ausführlichere Beschreibung der Einrichtung und des Gebrauchs meines Einschneidzirkels wird demnächst in dem XI. Bande der Abhandlungen der math. phys. Classe der k. Akademie der Wissenschaften erscheinen.

Digitized by Google

Rudolph Alfred

Herr Hermann von Schlagintweit-Sakünlünski legte vor:

„eine Wasseruhr und eine metallene Klangscheibe“ alter indischer Construction.

Solche sind auch jetzt noch im Gebrauche, ohne Veränderung der ursprünglichen Einfachheit ihrer Formen.

Er erläuterte sie wie folgt: [1])

Die Wasseruhr und die Klangscheibe in Indien.

Mit 1 Tafel.

Die Wasseruhr oder die Jalghâri: Indische Form, verschieden von ägyptischer und europäischer. — Grad der Genauigkeit. Einfluss der Temperatur. — Stundengrösse in alter und neuer Zeit. Bemerkung über die Wochen.

Die Klangscheibe oder der Gong: Deutung und Veränderung des Wortes. — Verbreitung. — Formen in Indien und in den östlichen Staaten. — Gongs mit bestimmten Tone. Exemplar aus Patn in Nepál. — Untersuchung des Tones. — Der normale Gong und die diatonische Scala.

Die Wasseruhr ist Segment einer metallenen Hohlkugel, nahezu Halbkugel, mit einer Perforation gleich einem

---

1) Transscription (ebenso in den „Results“ und in den „Reisen“): Vocale lauten wie im Deutschen; Diphtongen sind stets die Verbindung der beiden Vocale, die geschrieben sind; Kürzezeichen bedeutet unvollkommene Vocalbildung, Circumflex nasalen Laut. Unter den Consonanten sind einige vom Deutschen verschieden, der englischen Schreibweise entsprechend, nämlich „ch“ = tsch, „j“ = dsch, „sh“ = sch, „v“ = w, „z“ = weiches s.

Accent bezeichnet auf jedem mehrsilbigen Worte die Stelle, auf welcher der Hauptton ruht. (Erläutert in „Results“ vol. III. S. 139—160.)

Digitized by Google

Nadelstiche am tiefsten Punkte oder in geringer Entfernung davon. Sie wird auf Wasser gesetzt und füllt sich allmählig bis sie nach einer bestimmten Zeit untersinkt und zwar mit hörbarem Zusammenklappen des Wassers über derselben. Zur Fortsetzung der Beobachtung wird sie geleert und neu aufgesetzt.

Das Metall, das zu den Wasseruhren angewendet wird, ist dünnes Kupfer, gehämmert nicht gegossen.

Das hier vorgelegte Exemplar, ein Hohlkugel-Segment von 7,6 Centimeter Radius und 6,0 Centimeter Höhe, ist aus Benáres. (Fig. 1 der Tafel.) Das andere, diesem ganz ähnlich, ist zur Zeit in unserer Sammlung auf Jägersburg; ich bekam es im Jămna-Gebiete des oberen Hindostán, zu Panipăt, (nahe der Grenze gegen das Pănjáb).

Die vereinzelten Angaben, die uns erhalten sind über Wasseruhren in Europa (griech. Klepsydra) und in Aegypten, [2]) zeigen wenigstens, dass diese Wasseruhren ganz verschiedener Construction gewesen sind; bei ihnen war es, wie bei den Sanduhren, das Ausströmen was das Zeitmass bildete; auch der Grad der Veränderung liess sich bei einigen solcher Wasseruhren am Sinken des Niveau messbar beobachten. Bei manchen war Auffallen der Wassertropfen auf einem tönenden Körper mit dem Ausfliessen verbunden.

Der indische (Hindostáni-) Name ist „jal-ghári, wobei „jal" Wasser bedeutet, „ghári" Zeittheil, Stunde. Die alte indische Stunde ist definirt als der 60ste Theil des Tages; sie ist also gleich 24 unserer Minuten. Die vorgelegte Wasseruhr

---

2) Die ägyptische Wasseruhr findet sich als Hieroglyphe abgebildet. Wie Prof. Lauth mir diese gefälligst erläuterte, ist sie zu deuten wie folgt: Sie zeigt sich als eine cylindrische, schief gestellte Röhre; ein Verticalstrich an derselben markirt die Stelle des Ausfliessens; ein nahezu kugelförmiges Gefäss unter derselben nimmt das Wasser auf; hier ist dieses Gefäss, nicht die Röhre, durch Linien dem Raume nach getheilt.

Digitized by Google

ist bestimmt 3 solcher Stunden oder den 20sten Theil des Tages = 72 unserer Minuten als Einheit zu zeigen.

Die Anfertigung der Uhren ist im Principe sehr einfach; man beginnt damit sie zu gross zu machen; sie brauchen dann „zu lang" zum Untersinken. Nun wird vorsichtiges Abfeilen am Rande vorgenommen und so lange fortgesetzt, bis die Zeit des Füllens die genügende Genauigkeit erhalten hat; dabei erwartet man „dass die Uhr eher zu rasch als zu langsam gehe, weil doch bei jedem Ausleeren und neuem Aufstellen Zeit verloren werde", wie man mir, unter diesen Umständen ganz richtig, als Ursache angab.

Nach und nach wird das Untersinken durch den Gebrauch selbst beschleunigt, da die Einströmungsöffnung sowohl durch mechanische Reibung als durch Oxydation allmählig sich erweitert.

An den beiden Jalgháris unserer Sammlung, deren Auffindungsstellen sehr weit auseinander lagen, die aber beide nach der dunklen Farbe der Kupferoberfläche ziemlich alt sich zeigen, ist der Fehler nahezu der gleiche, nämlich $4\frac{1}{2}$ Min. In Flusswasser von 25 bis 28° C., was den mittleren indischen Verhältnissen in specifischem Gewichte (abhängig von Salzgehalt und Temperatur) entspricht, ist die Zeit des Sinkens für die Wasseruhr aus Benáres (Catal. Seite 210 C, Nr. 270) 1 St. 7 Min. 34 Sec., für die andere von Panipát (ib. Nr. 271) 1 St. 7 Min. 16 Sec. In Wasser von 5°8 C. war das Sinken um nahe eine Minute verlangsamt, (um 56 Secunden, im Mittel mehrerer Beobachtungen.) Bei Temperatur-Erniedrigung zieht sich Wasser mehr zusammen als Kupfer, das specifische Gewicht des Kupfers wird also geringer, zugleich wird die Perforation, durch die das Wasser einströmt, ein wenig kleiner. Beides wirkt zusammen, die zum Untersinken nöthige Zeitdauer etwas zu verlängern.

Gegenwärtig wird in Indien in gewöhnlichem Verkehre

Digitized by Google

die Eintheilung des Tages in 24 Stunden, wie bei uns, gebraucht; aber bei den Bráhmans, auch bei den Hindú-Sipáhis sind noch jetzt Zeitmesser wie die vorliegenden, die auf das alte System sich basiren, nicht ganz verschwunden.

Die Eintheilung in 24 Stunden ist die babylonische, wie sie als solche in der Bibel sich findet.

Auch die Aegypter theilten den Tag in 24 Stunden. Der letztere Umstand wird nicht ohne Einfluss gewesen sein, die 24stündige Tageseintheilung im Westen sehr früh zur allgemeinen zu machen.

Gegen Osten aber war die Theilung des Tages in 60 Stunden lange die vorherrschende. In Indien begann die Periode der 24 Stunden mit der Gründung permanenter mussälmánischer Reiche, im 11. Jahrhundert. Das Eintreten europäischer Herrschaft konnte nur dazu beitragen, diese diese Tageseintheilung zu verallgemeinern.[3])

---

3) Unsere 7tägige Woche dagegen, gleichfalls aus Babylon von den Juden mitgebracht, hat weit rascher im Osten ihre Verbreitung gefunden als sie von Palästina nach dem Westen kam, und überall zeigt sie sich genau mit derselben astrologischen Bezeichnung der Wochentage, wie wir noch jetzt sie haben. Im Westen, bei Aegyptern, Römern, Griechen etc. war die Begrenzung der Tagesgruppen eine ganz andere. Ich hatte diess in Verbindung mit den letzten Nachrichten über meinen unglücklichen Bruder Adolph zu erwähnen in „Sitzungsber. der k. b. Ak. 1869 S. 187."

Die Tibeter haben Tag von 24 Stunden, Stunde von 60 Minuten, ihre Woche ist die 7tägige; bisweilen aber hat eine Woche 1 oder 2 Tage weniger, in Verbindung mit dem buddhistischen Cultus. Ihre Monats- und Jahresrechnung zeigt noch viel mehr des Vereinzelten und Abweichenden. Erläutert in „Buddhism in Tíbet" von meinem Bruder Emil. S. 272—289.

Die ägyptischen Decade als Woche, wovon 3=1 Monat, so wie die allgemeinen Gesetze des ägyptischen Kalenders sind beschrieben und erklärt in F. J. Lauth's „Les Zodiaques de Dendérah; Munich 1865."

Digitized by Google

Die Klangscheibe, die ich vorlege, ist ein indischer Gong. Das Wort „Gong" ist das Sanskrit „ghántâ"[4]) bedeutend „Glocke, Lärmscheibe" — das sich jetzt im gewöhnlichen Hindostáni in „gong" verändert hat. Die alte Form „ghánta" kommt auch im Hindostáni noch vor und bedeutet Zeit; „Kitna ghánta?" analog dem englischen „what o' clock?" gehört zu den ersten Phrasen, die der Reisende dort zu lernen bekömmt.

In Verbindung mit der Beobachtung der Wasseruhr dient der Gong zum Anschlagen der Stunde; auch Besuch, Beginn der Essenszeit etc. wird damit signalisirt. Anwendung desselben im Cultus, was das ältere ist, besteht noch jetzt in den Tempeln der Hindús und der Buddhisten fort.

Der Gong in seiner ursprünglichen und einfachsten Form ist eine flache runde Platte aus messingähnlichem Metalle. Auch der hier vorgelegte ist ein solcher; seine Dimensionen sind: Durchmesser der Platte 20,5 Centimeter, mittlere Dicke desselben 0,46 Centimeter. Durch ein Loch nahe dem Rande wird eine Schnur zum Aufhängen gezogen. (Fig. 2 der Tafel.)

Die Analyse des Metalles ergab Kupfer als Hauptbestandtheil, Zinn in geringerer Menge, Zink in sehr geringer, Eisen in Spuren. In Indien wurde mir gesagt, dass in der Composition für ähnliche Instrumente, sowie für andere

---

4) Nach Mittheilung meines Bruders Emil: Ghantâ (fem.) ist ursprünglich wohl identisch mit „ghata", Topf (t palatal). Ghantâ kömmt im Epos vielfach vor; in buddhistischen Schriften wird „das Ertönenlassen der Glocke oder Lärmscheibe" oft erwähnt, und es ergibt sich, dass die Berechtigung hiezu als Beweis des Uebergewichts derjenigen Schule galt, welche diess jeweils that.

In tibetischen Manuscripten wird ghantâ selten übersetzt, sondern transscribirt, meist corrumpirt zu gandha, ganti; in den wenigen Fällen der Uebersetzung ist es mit „Glocke", tib. dil-bu, wiedergegeben.

Digitized by Google

Geräthe des Hindú-Cultus auch Wismuth [5]) enthalten sei. Hier liess sich keine Spur desselben nachweisen.[6])

Etwas abweichend von dieser ganz einfachen Gestalt entstanden später Scheiben mit halbkugelförmigen Hervorragungen, den Cinellen ähnlich; solche haben jetzt gewöhnlich noch einen Metallansatz rings um den Rand, der nach der Seite, wo die Höhlung liegt, sich fortsetzt. Der Ansatz ist bisweilen cylindrisch, häufiger conisch, etwas verengt. Diese Form ist in China die gewöhnliche und hat sich im Archipel und in Südindien verbreitet.

Nach China kam der Gong wohl mit der Einführung des Buddhismus; Tántan, vulgär Támtam, Tómtom, das man bisweilen als chinesische Bezeichnung des Gong nennen hört, ist ursprünglich nicht chinesisch, sondern ein Bengáli-Wort und heisst in diesem Theile von Indien „Trommel mit Fell" im Gegensatze zu Metallinstrumenten. Aber im südlichen Indien und im indo-chinesischen Gebiete wird gegenwärtig Tántan und seine localen Variationen allerdings für „Lärminstrument" jeder Art gebraucht.

Bei den Maláyen finden sich auch Gongs, die nur Segmente von hohlen Kegeln sind, also nur dem conischen Ansatze (ohne schliessende Platte) entsprechen. Aus Siám war ein anderer auf der Pariser Ausstellung, der aussah wie ein alter Matrosenhut aus Metall. Zugleich mit der Veränderung der Form ist das Verhältniss zwischen Kupfer und Zinn ein sehr verschiedenes. In Gongs aus Siám in China soll auch Silber vorkommen.

5) Der indische Name ist „phul-dhátu", das Blumen-Metall; auch „phul", die Blume", hört man für Wismuth sowie für wismuthhaltiges Gussmetall gebrauchen.

6) Von dem vorliegenden Exemplare konnte nur wenig zur Analyse abgenommen werden, da sonst der Ton sich hätte ändern können; es war mir daher sehr willkommen, dass Herr Prof. von Pettenkofer jüngst die Güte hatte, ebenfalls die Substanz auf etwaiges Vorkommen von Wismuth zu prüfen.

Digitized by Google

Im östlichen Himálaya und in Tíbet sieht man oft statt des Metalls unerwartete Substitute aus Holz. In Síkkim bekam ich sogar einen Gong, welcher die obere Knochendecke einer Schildkröte ist; die Fläche ist roth bestrichen, und hat schwarze Felder, schachbrettartig mit hellen wechselnd, längs dem Rande.

Ganz davon verschieden sind Formen von Gongs, die in Nepál, auch in Bérma und seinen östlichen Nachbarstaaten vorkommen. Sie sind theils hohlen Halbkugeln ähnlich, oder sie haben die Gestalt unserer Glocken, aber es fehlt der in der Mitte herabhängende Schwengel.[7])

Gongs in Glockenform haben stets viel tieferen, auch viel kräftigeren Klang als jene in einfacher Plattenform; solche, die beckenförmig erweitert und mit Rand versehen sind, schallen bei gehöriger Grösse gleichfalls sehr laut.

Zum Tönen werden die Gongs, von welcher Art sie seien, durch Anschlagen mittels eines Holzschlegels gebracht, der einen mit Banmwollstoff umwickelten Knopf hat.

Die Gongs haben meist, ähnlich den Becken und Cinellen in unsern Orchestern, einen schwirrenden Klang; gewöhnlich sind sie angenehm zu hören, aber ihre Schallwellen, die zwar periodisch sich folgen und gleichartig gestaltet sind, entbehren der bestimmten Höhe des Klanges „des Tones.“[8])

Dessen ungeachtet haben alle solche Gongs, wenn ihr Klang voll und lange nachhaltend ist, ebenso wie die Cinellen

---

7) Symbolisch aufgestellt sieht man solche am Goldenen Thore im alten Palaste zu Bhatgáũn in Nepál. „Reisen“, Band II, Tafel X.

8) Fétis in seiner ausführlichen „Histoire générale de la musique“ beschreibt vol. II pp. 274—311 den reichen Vorrath indischer musikalischer Instrumente, welche aus dem Museum des India Office zu London in der Pariser Ausstellung 1866 aufgestellt waren. Von den Gongs erwähnt er nur ihres sonoren Klanges („leur sonorité,“ im Gegensatz zu den nicht sonoren Castagnetten und Trommeln).

Digitized by Google

bei uns und im Oriente, einen sehr hohen Werth. Es ist nicht nur schwierig, eine möglichst homogene Composition des Metalles zu erhalten; auch das Bearbeiten der Masse, um ihr regelmässige Form und genügende Grösse zu geben, ist sehr umständlich. Ungeachtet der Sprödigkeit messingähnlichen Metalls sieht man die Gongs meist auch gehämmert, was dem Giessen allein, selbst wenn nachträglich noch gefeilt wird, vorzuziehen ist. Die Möglichkeit solcher Bearbeitung soll vor allem mit einer für die ganze Masse recht gleichmässig schnellen Abkühlung beim Giessen zusammenhängen; Dicke und Substanz der Gussform hat dabei viel Einfluss. Für die messingähnlichen Compositionen der Gongs wird im Oriente allgemein angenommen, dass rasches Abkühlen sehr förderlich ist für den Klang. Es geschieht oft, dass ein der Form nach fertiges Instrument nochmals erhitzt und in Wasser getaucht wird.

Gongs mit bestimmtem „Tone" waren vor unsern Reisen weder in Berichten über Indien oder die benachbarten Gebiete irgend erwähnt, noch waren solche auf den letzten Ausstellungen zu London und zu Paris vorgekommen. Wahrscheinlich ist die geringe Anzahl der „heilig-tönenden" seit alter Zeit mit dem Hindú-Cultus enge verbunden, und war so in den schwer zugänglichen Tempeln der Beobachtung entzogen geblieben.

In Nepál, wo ungeachtet der oft zerstörend auftretenden Górkhas[9]) manches des Altindischen in Cultusformen und in Sanskrit-Literatur sich erhalten hat, gelang es mir auch,

9) Die Górkhas, jetzt die herrschende Bevölkerung in Nepál, lassen sich in 3 Gruppen unterscheiden, in jene der Gúrungs, der Mágars und der Khas. Die Gúrungs sind zum Theil noch ziemlich reine indische Typen. Aber die Mágars und die Khas gehören auf das deutlichste jener Gruppe der Hindú-Bevölkerung Nepáls an, welche sich durch Beimischung tibetischen Blutes sehr geändert hat. „Reisen", Band II S. 37.

Digitized by Google

den hier vorliegenden Gong (Cat. Seite 314 Nr. 140) mir zu verschaffen, der früher in einem Tempel der alten Stadt Patn[10]) sich befunden hatte.

Die Abbildung, eine photographische Aufnahme in Druck, zeigt sehr deutlich die Bearbeitung der Grösse und Form durch die wellenförmig gehämmerte Gestalt der Oberfläche, sowie durch die concentrischen Striche des Abhebens von Masse rings um den Rand dieses Gongs.

Die bestimmte Höhe seines Tones war mir sogleich auffallend; bei näherer Untersuchung bestätigte sich, dass derselbe unserer diatonischen Scala angehört und zwar dass er identisch mit jenem „a" derselben in der alten Stimmung ist, bei dem die Zahl der Schwingungen 440 in der Secunde beträgt. (Für das „a" der neuen Pariser Stimmung ist die Zahl der Schwingungen 437,5.) Die Tonhöhe dieses Gongs wurde sowohl durch unmittelbaren Vergleich mit einer Stimmgabel von 440 Schwingungen als auch durch Anwendung einer Violine geprüft. Die Untersuchung mit der Violine wurde letzten Sommer bei der Bearbeitung der Sammlungen auf Jägersburg vorgenommen. Zuerst liess ich die Saitenstimmung nach einer Stimmgabel ausführen, dann wurde die „a"-Saite nachgelassen und neu nach dem Gong gestimmt. Auch jetzt klangen mehrere harmonische Obertöne der übrigen Saiten mit, ganz wie die Untersuchungen von Helmholtz[11]) es erwarten liessen, wenn die nach dem Gong vorgenommene Stimmung genau wieder das frühere „a" geworden war. Sehr deutlich hörten wir das Mittönen der Terz, der Quinte und der Octave, auch ohne Anwendung des Helmholtz'schen Resonators.

Die Untersuchungen über die Geschichte der Musik in Indien haben ergeben, dass die diatonische Scala, die Reihe

10) Patn liegt auf einer fruchtbaren Terrasse südöstlich von Kathmándu, das durch die Górkhas die Hauptstadt geworden ist.

11) Lehre von den Tonempfindungen, 2. Aufl. Braunschweig 1865.

Digitized by Google

von 7 Noten aus ganzen und aus grossen halben Tönen bestehend, in Indien sehr hohes Alter habe.[12]) Nach dem Eindringen der semitischen Anhänger des Islám hatten sich mit dem Verschwinden der altindischen Sprache bald auch die alten Auffassungen der Musik geändert. (Einfluss der Europäer auf die Musik hat nie bestanden.[13]) Der alte Svar,[14]) das heisst „der Ton" vorzugsweise, ist unser oben angeführtes „a" als Grund- und Haupt-Ton gewesen. Der normale Gong entspricht daher nach der Qualität des Tones unserer Stimmgabel[15]); durch die Einfachheit der Form sind auch alte Exemplare, wie hier sich zeigt, vortrefflich gegen Veränderung des Tones geschützt. Die Uebereinstimmung ist eine so vollkommene, dass sie keine zufällige sein kann.

Für die Beurtheilung der Verbindung der musikalischen Verhältnisse Europas, in Zeit und Form, mit jenen der alten arischen Völker im Osten dürfte es nicht ohne Bedeutung sein, dass nun durch factische Probe die Identität des Grundtones

---

12) Die erste ausführliche Abhandlung über die indische Musik mit Berücksichtigung der Daten in Sanskritsprache ist jene von W. Jones: „On the musical modes of the Hindus. Asiatic Res. vol. III 1799.

P. von Bohlen in seinem Werke „Das alte Indien" Bd. II S. 195 nennt die diatonische Scala coëxistirend zum mindesten mit den Hymnen des Samavéda, im 5. Jahrh. nach Chr. Er spricht dort auch über Verbreitung dieses Systemes gegen Westen durch die Araber und Perser.

13) Ambros, Geschichte der Musik, 1862. Bd. I S. 50.

Die neueste sehr sorgfältige Zusammenstellung von Literatur und eigenen Untersuchungen bietet das bei den Gong-Formen genannte Werk von Fétis. Paris 1869.

14) Noch im gegenwärtigen Hindostáni heisst „Svar" Ton, Stimme, Vocal. Als specifische Bezeichnungen für das „a" im Sanskrit nennt Ambros „Sadrya" oder „Sarya."

15) Die Stimmgabel in Europa ist sehr neuen Datums. Sie ward erfunden und sogleich als „tuning fork" bezeichnet von Shore, der von 1715 bis 1753 ein Musiker der englischen Armee gewesen ist. — Es wurden Stimmgabeln für die Töne „a" und „c" gemacht.

Digitized by Google

auch an einem Objecte des Bráhman-Cultus[16]) bestätigt ist.

Die Zahl der unter sich verschiedenen ursprünglich indischen Musikinstrumente[17]) kann auf 40 bis 45 geschätzt werden, wenn man dabei auch jene einschliesst, die mit dem Buddhismus nach Tíbet kamen und dort, mehr oder weniger verändert, noch fortbestehen.[18])

Die Musik in Tíbet ist stets langsam und tieftönend; sehr melodisch ist sie nicht, aber jedenfalls weit besser als die gegenwärtige Musik in Indien.

Was man in Indien zu hören bekömmt, ist sehr unbefriedigend, gewöhnlich unklar sich fortschleppend, häufig sehr lärmend. Letzteres gilt am meisten von den Aufführungen der Mussälmáns.[19])

Die Kunst der alten Zeit mag analog der hohen Ausbildung der Sanskritsprache viel besser gewesen sein. Jedenfalls verdient die frühe physikalisch richtige Beurtheilung der akustischen Verhältnisse volle Anerkennung.

---

16) Unter den Musikinstrumenten, die in Indien jetzt zu gewöhnlichen Aufführungen gebraucht werden, sind es die Blasinstrumente von Holz oder Blech, weniger die metallischen Schlaginstrumente, welche das „a" als Grundton erkennen lassen; die Londoner Ausstellung von 1851 hatte viel Material zu vergleichender Untersuchung geboten. Hector Berlioz, Mitglied der Jury für musicalische Instrumente erwähnt dabei in seinen „Soirées de l'orchestre" auch des einfachen hoboë-ähnlichen Blasinstrumentes, aus Holz, das nur einen Ton gibt, und zwar ein „a". Dieses sah er einige Jahre vorher in Paris. Der Anführer der Musikanten einer Bajaderengruppe „hatte damit 2 ganze Stunden lang fortwährend ein „a" geblasen."

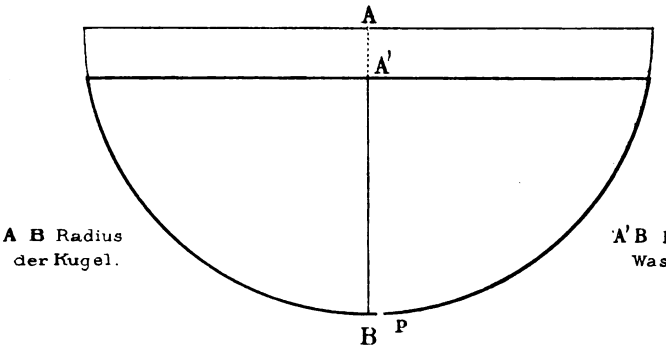
17) Eines der eigenthümlichsten ist die alte Vina, die sich noch immer in Indien findet. Es ist diess eine Laute, gewöhnlich mit 7 Saiten, die 1 Hohlkugel (ursprünglich Kürbis) an jedem Ende des Griffbrettes hat, zum bequemen Auflegen, wenn im Sitzen gespielt. Bei anderen Saiteninstrumenten, auch bei solchen, die mit dem Bogen gespielt werden, ist es nicht selten, dass sich unter den Darmsaiten noch eine Gruppe von Metallsaiten befindet, die nicht berührt werden, sondern nur mittönen. Der Resonanzkasten ist häufig mit einem Trommelfell bespannt.

18) Die tibetischen Instrumente sind nach unsern Beobachtungen und Sammlungsgegenständen erläutert von meinem Bruder Emil: Buddhism in Tíbet, p. 228.

19) Verschiedene indische Feste mit Musik und Tanz erwähnte ich in Bd. I der „Reisen" S. 253, 454 etc.

Digitized by Google

Die Wasseruhr oder die Jalghári.



½ natürl. Grösse.

Die Klangscheibe oder der Gong.

½ natürl. Grösse.

Digitized by Google

Digitized by Google

Freiherr von Liebig hält einen Vortrag über die Bestimmung der Kohlensäure im Brunnenwasser und über die Seidenraupenkrankheit.

Herr Hesse legt seine Schrift vor: die Determinanten elementar behandelt.

Derselbe spricht über einen Fehler, welcher bei mathematischer Bestimmung der Atomgewichte aus mehrfach zusammengesetzten Mischungen vorkommen kann, ohne dass die Rechnungsmethode als fehlerhaft zu erweisen sei.

Digitized by Google

Oeffentliche Sitzung

am 28. März

zur Feier des Stiftungstages der Akademie.

Nach der Eröffnungsrede des Vorstandes, Freiherrn von Liebig, wurden von demselben die Namen der verstorbenen Mitglieder des vergangenen Jahres kundgegeben. Diese sind:

Das Ehrenmitglied Fürst Ludwig von Oettingen-Wallerstein, gest. am 22. Juni 1870.

Aus der philosophisch-philologischen Classe:

August Meinecke, gest. am 13. December 1870.
Amédée Peyron, gest. am 27. April 1870.

Aus der mathematisch-physikalischen Classe
(s. unten die betreffenden Nekrologe).

Aus der historischen Classe:

Philipp Jaffé, gest. am 3. April 1870.
Adolf von Varnhagen, gest. 1870.
Georg Gottfried Gervinus, gest. am 18. März 1871.
Rudolf Köppke, gest. am 10. Juni 1870.
Theodor Herberger, gest. am 5. December 1870.
Franz Joseph Mohne, gest. am 12. März 1871.*)

---

*) Die betreffenden Nekrologe s. in den Sitzungsberichten der erwähnten Classen.

Digitized by Google

LE

CHRONOGRAPHE-PENDULE

DE M. CASPERSEN

CAPITAINE D'ARTILLERIE DANS L'ARMÉE DANOISE

Par L. COCHARD

CAPITAINE D'ARTILLERIE

(Extrait de la *Revue d'artillerie*.)

PARIS

BERGER-LEVRAULT & Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

5, rue des Beaux-Arts, 5

MÊME MAISON A NANCY

1882

Digitized by Google

1113

Digitized by Google

CHRONOGRAPHE-PENDULE

De M. CASPERSEN

CAPITAINE D'ARTILLERIE DANS L'ARMÉE DANOISE

Description de l'appareil.

I. — Le chronographe-pendule du capitaine Caspersen se compose essentiellement (fig. A): d'un pendule dont la

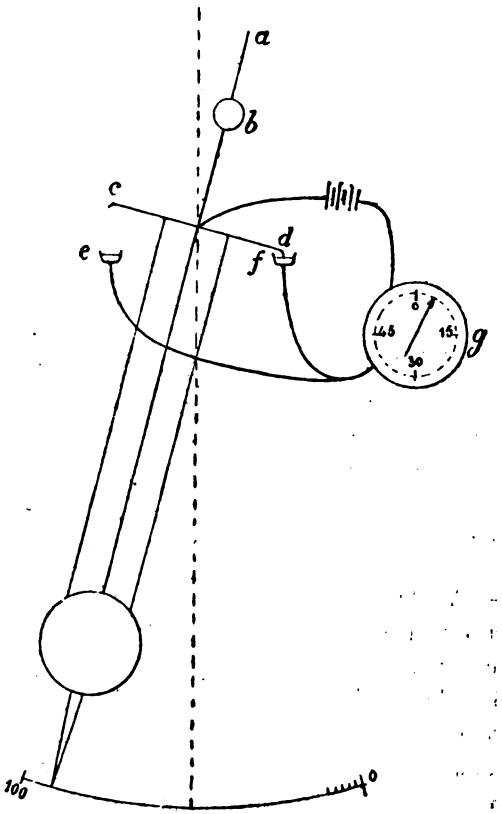


Fig. A.

Digitized by Google

tige est prolongée au-dessus de l'axe de suspension et se termine par une pointe *a*. Entre l'axe de suspension et cette pointe se trouve un contrepoids *b*. Le pendule bat la seconde exactement. Son extrémité inférieure se meut le long d'un arc divisé en 100 parties égales.

Perpendiculairement au pendule, à hauteur de l'axe de suspension est fixé un balancier très mince *cd* recourbé à chaque extrémité de manière que chacune peut venir, tour à tour, plonger dans de petites tasses à mercure *e* et *f* : si nous avons un courant électrique en rapport avec l'horloge électrique *g*, et si nous faisons osciller le pendule, nous pouvons compter les secondes entières.

Voyons maintenant comment nous passerons aux fractions de seconde.

II. — Le pendule étant au commencement de l'oscillation, son extrémité repose sur un levier *db* (fig. B) dont l'un des bras est attiré par un électro-aimant *c*.

Le courant de ce dernier étant interrompu, le levier se baisse sous l'action du ressort à boudin *a* et le pendule commence à osciller. Dans ce qui suit nous appellerons ce courant le courant (II).

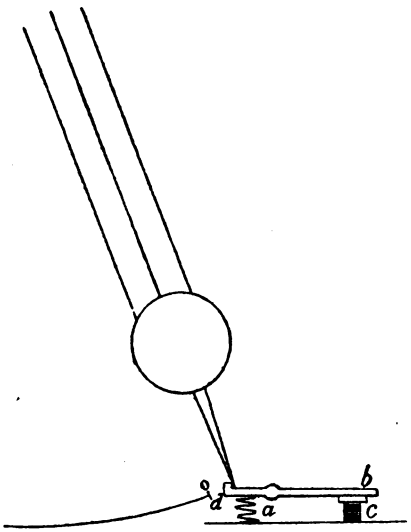


Fig. B.

III. — Au-dessus du pendule se trouve un autre levier (fig. C) *ab*. Sous le bras *b* se trouve une pièce de liège, l'autre bras *a* est relié par une corde métallique à un levier *cd*. Le bras *c* de ce dernier est tenu par un électro-aimant, sur

Digitized by Google

lequel agit un troisième courant électrique. Lorsque ce courant est interrompu, le bras *c* se lève, aidé par le ressort *f*, le liège tombe sur la pointe supérieure du pendule

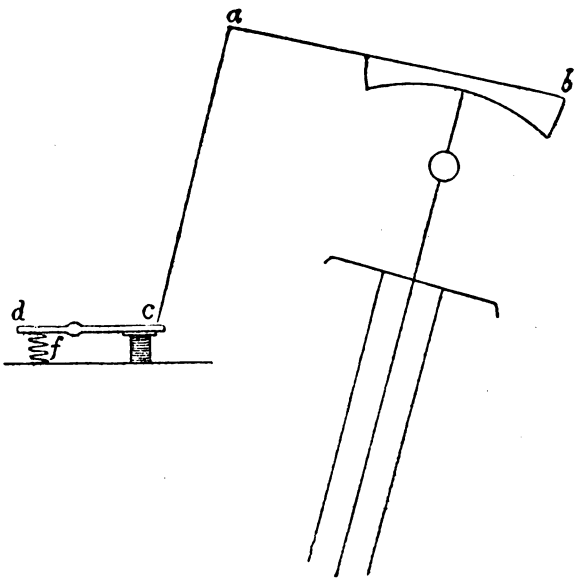


Fig. C.

et celui-ci s'arrête. Dans ce qui suit nous appellerons ce courant le courant (III).

La division en cent parties égales de l'arc qui se trouve à la partie inférieure fait qu'on peut apprécier le temps à $\frac{1}{100}$ de seconde près.

Comme les cent divisions sont égales, il faut faire une correction due à ce que la vitesse au haut de l'arc de cercle est moindre que quand le pendule est au point le plus bas, c'est-à-dire à la tangente horizontale. Il a donc fallu calculer une table qui indique le temps exact qui correspond à la partie de l'arc parcourue dans la dernière seconde commencée. Les secondes entières sont comptées par l'horloge électrique.

La description sommaire précédente donne le principe

Digitized by Google

de l'appareil, mais il a fallu faire plusieurs améliorations pour le compléter.

1° D'abord, c'est le même courant qui met le pendule en mouvement et qui actionne l'horloge électrique.

2° Les oscillations diminuant de plus en plus d'amplitude, il faut s'arranger de manière qu'au moment de la fraction de seconde à mesurer le pendule oscille exactement entre les points 0 et 100 de la division; cela se fait en mettant le levier à électro-aimant de la figure B plus ou moins dans le voisinage du zéro. Cette distance se trouve par tâtonnement une fois pour toutes et elle est indiquée de manière qu'on n'a qu'à placer le levier sur une graduation correspondant au nombre rond de secondes à mesurer, nombre que l'on connaît d'avance: 10, 20, 30, etc.

3° Les courants (II) et (III) traversent un disjoncteur comme dans le chronographe Le Boulangé: si, en interrompant les deux courants à la fois, le pendule reste immobile, on est sûr que l'appareil est réglé.

4° Les tasses à mercure peuvent s'élever et s'abaisser au moyen de vis de rappel, de telle façon qu'il n'y ait contact que quand le pendule est à la fin d'une oscillation. On est seulement alors sûr de bien mesurer les fractions de la dernière seconde commencée: si l'horloge électrique battait, par exemple, quand l'extrémité du pendule est au point 95, et si la durée à observer finissait juste au même moment, on serait exposé à compter $0^s,05$ en plus au lieu de $0^s,05$ en moins.

Nous donnons ci-après la table de correction pour l'appareil du laboratoire de l'artillerie de Copenhague. Cette table doit être calculée pour chaque instrument.

La figure 1 de la planche représente d'après une photographie le chronographe entier avec les deux éléments de pile: le pendule est suspendu de manière à commencer ses oscillations au moment où tombe le levier. La figure 2 est une reproduction de la partie inférieure à une plus grande échelle; le pendule vient de s'arrêter. De même,

Digitized by Google

Table des corrections.

MESURE sur l'arc.	TEMPS juste.	MESURE sur l'arc.	TEMPS juste.	MESURE sur l'arc.	TEMPS juste.	MESURE sur l'arc.	TEMPS juste.	MESURE sur l'arc.	TEMPS juste.
0,5	4	21	26	41	42	61	60	81	76
1	5	22	27	42	43	62	61	82	77
2	7	23	27	43	43	63	62	83	77
3	9	24	28	44	44	64	63	84	78
4	10	25	29	45	45	65	63	85	79
5	12	26	30	46	46	66	64	86	80
6	13	27	30	47	47	67	65	87	81
7	14	28	31	48	48	68	66	88	82
8	15	29	32	49	49	69	67	89	82
9	16	30	33	50	50	70	67	90	83
10	17	31	34	51	51	71	68	91	84
11	18	32	34	52	52	72	69	92	85
12	19	33	35	53	53	73	70	93	86
13	19	34	36	54	54	74	70	94	87
14	20	35	37	55	55	75	71	95	89
15	21	36	38	56	56	76	72	96	90
16	22	37	38	57	57	77	73	97	91
17	23	38	39	58	58	78	73	98	92
18	23	39	40	59	58	79	74	99	95
19	24	40	41	60	59	80	75	100	»
20	25								

la figure 3 représente à une échelle plus grande la partie supérieure de l'appareil.

Emploi de l'instrument dans l'artillerie danoise. — On emploie le chronographe Caspersen :

1° Pour mesurer le temps qu'un projectile met à parcourir une portion de trajectoire ; un des courants (II) est mis en rapport avec l'étoupille et est interrompu au moment où on met le feu. Le pendule commence à osciller et l'horloge marque les secondes entières. L'autre courant (III) au moyen d'un disjoncteur est interrompu par un observateur quand le projectile touche la terre, ou quand il éclate ; le pendule alors s'arrête.

2° Pour étudier le fonctionnement des fusées fusantes.

Rappelons que la fusée fusante actuellement réglementaire en Danemark est la fusée Krupp à un étage.

Digitized by Google

La fusée est vissée dans une table A (fig. D). Au-dessus de la table se trouve un levier *ab* et au-dessous un autre

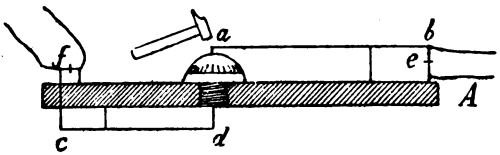


Fig. D.

cd. Le premier porte en *a* une pièce métallique qui, par le choc d'un marteau, peut mettre la fusée en action : le courant (II) est brisé en *e* et le pendule oscille.

Quand la fusée a brûlé le temps que comporte la graduation employée, la charge à l'intérieur éclate et fait tomber le bras de levier *d*, le courant (III) est alors interrompu en *f* et le pendule s'arrête.

3° Pour mesurer la durée de combustion de la matière fusante des fusées à spirale en hélice.

Dans ce but, on a un cône en acier taillé de telle façon que la mèche ou tube de matière fusante s'y place exactement comme dans la fusée. Le cordeau fusant étant placé, on y perce des trous correspondant à d'autres trous qui se trouvent sur le cône en acier. Par ces trous on fait passer des fils de lin et on place le cône sur l'appareil marqué par la figure E ; un bout des fils est fixé à l'extrémité d'un ressort (*ge*) (*hf*), l'autre bout à l'extrémité d'un levier (*b* du levier *ab*, *c* du levier *cd*).

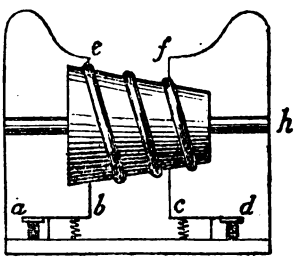


Fig. E.

Au point *d*, le contact fait passer le courant (II); au point *a*, le contact fait passer le courant (III).

Si on allume le cordeau fusant, supposons que ce soit à la petite base du cône, au moment où le fil *cf* se brise en brûlant, le ressort à boudin attire le bras *c*, le courant (II) est interrompu, le pendule commence à osciller.

Digitized by Google

Quand le feu atteint le fil *eb*, le courant (III) est interrompu, le pendule s'arrête.

L'expérience finie, on nettoie le cône d'acier des restes de cordeau, on le trempe dans du mercure pour le refroidir et on peut de suite recommencer sur un autre cordeau.

En opérant ainsi, on mesure toujours la durée de combustion de la même longueur de cordeau.

La figure 4 de la planche représente, d'après une photographie, une vue de l'appareil employé pour mesurer la durée de combustion des cordeaux en plomb que l'on met sur les fusées : il est bon de placer un écran au-dessus des leviers pour les préserver des attaques des gaz pendant la combustion.

Remarquons en terminant que, dans les deux derniers cas que nous venons de citer, le chronographe du capitaine Caspersen fonctionne d'une façon absolument automatique.

Nancy, imprim. Berger-Levrault et Cie.

Digitized by Google

Digitized by Google

ULE

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

LIBRAIRIE BERGER-LEVRAULT & Cie.

Projet de tenue pour l'artillerie, par le lieutenant-colonel D'ESCLAIBES-D'HUST, directeur de l'École d'artillerie de Poitiers. 1882. In-8° avec 15 gravures et 2 planches. . . . . 2 fr. 50

L'Artillerie à cheval en union avec la cavalerie indépendante, par C. de JOB, chef d'escadron d'artillerie. 1882. In-8° . . . . . 1 fr. 50

Étude sur le tir fusant de l'obus modèle 1879, par M. de GALEMBERT, capitaine d'artillerie. 1882. In-8° . . . . . 50 c.

Essai sur le tir fusant des projectiles de campagne, par M. PERCIN, capitaine d'artillerie. 1881. In-8°, avec 4 gravures. . . . . 1 fr.

Tir de guerre (siége et campagne), par J. PRIOU, capitaine d'artillerie. Résumé du traité du capitaine F. SIACCI, de l'artillerie italienne, 1880. In-8°, avec 4 figures, broché . . . . . 1 fr.

Études sur l'artillerie. L'artillerie de forteresse, par P. PLOIX, chef d'escadron. 1881. In-8°, broché . . . . . 1 fr. 25

Études sur l'artillerie. Les écoles à feu, par P. PLOIX, chef d'escadron. 1881. Grand in-8°, broché. . . . . 1 fr.

Études sur l'artillerie. Les masses d'artillerie, par P. PLOIX. 1882. Gr. in-8°, avec une carte, broché. . . . . 1 fr. 50

Appareils de pointage indirect et de repérage des bouches à feu de siège et de place, par F. FRIQUE, capitaine d'artillerie. 1882. In-8°, avec 3 planches et figures dans le texte . . . . . 3 fr. 50

Correction à faire subir à la hausse en raison de l'élévation du but, par M. PERCIN, capitaine d'artillerie. 1882. In-8°, avec 7 figures . . 1 fr.

Balistique rationnelle et balistique pratique. Nouvelle méthode pour résoudre les problèmes du tir, par F. SIACCI, capitaine d'artillerie italienne; traduit par J. PRIOU, capitaine d'artill. 1881. In-8°, br. 1 fr. 25

Sur le Calcul des éléments balistiques, par Fr. CHAPEL, capitaine d'artillerie. 1881. In-8°, broché. . . . . 75 c.

Traité élémentaire d'électricité. Notions préliminaires sur l'étude de l'électricité, par C. HALLEZ, lieutenant de vaisseau. 1882. Un volume in-12, avec 178 figures . . . . . 4 fr.

Le Télélogue, appareil de télégraphie optique. Description. — Emploi. — Application, par F. GAUMET, capitaine adjudant-major au 27e régiment territorial d'infanterie. 1882. In-12. . . . . 1 fr. 50.

Influence de la diminution progressive des vitesses initiales données par les cartouches métalliques sur la portée du fusil d'infanterie, par J. B. V. LEFÈVRE, chef d'escadron d'artillerie. 1882. Gr. in-8°, br. 75 c.

Les Armes portatives en France. Armes modèle 1874. (Système Gras). In-8°, avec planche in-folio. . . . . 2 fr.

Les Armes portatives en Allemagne — Bavière — Système Werder, fusil d'infanterie modèle 1869. In-8°, avec 2 planches . . 1 fr. 50

Les Armes portatives en Allemagne — Prusse — Système Mauser, fusil d'infanterie modèle 1871. In-8°, avec planche . . . . . 1 fr.

Les Armes portatives en Autriche-Hongrie — Fusil Werndl — Fusil Fruwirth — Revolver Gasser, par R. COLARD, capitaine d'artillerie. In-8°, avec 3 planches . . . . . 2 fr.

Les Armes portatives en Russie — Fusil Krink — Fusil Berdan, par L. LABICHE, capitaine d'artillerie. In-8°, avec 2 planches . . . . 2 fr.

Nancy. — Imprimerie Berger-Levrault et Cie.

Digitized by Google

11807

From the Author

INSTITUTION OF ENGINEERS IN SCOTLAND

WITH WHICH IS INCORPORATED THE

SCOTTISH SHIPBUILDERS' ASSOCIATION.

Chronometer ON THE

RATE OF A CLOCK OR CHRONOMETER

AS

INFLUENCED BY THE MODE OF SUSPENSION.

By (Sir) WILLIAM THOMSON. Baron Kelvin

READ BEFORE THE INSTITUTION, FEB. 27, 1867.

Reprinted from the Transactions of the Institution by Permission of the Council.)

GLASGOW:

PRINTED BY WILLIAM MUNRO, 27 UNION STREET.

MDCCCLXVII.

Digitized by Google

INSTITUTION OF ENGINEERS IN SCOTLAND

WITH WHICH IS INCORPORATED THE

SCOTTISH SHIPBUILDERS' ASSOCIATION.

OFFICE BEARERS FOR SESSION 1866-67.

President.

J. G. LAWRIE.

Vice-Presidents.

JAS. RODGER, | W. M. NEILSON,
W. J. MACQUORN RANKINE, LL.D.

Councillors.

ANTHONY INGLIS,
J. BROWNLEE,
J. R. NAPIER,
A. GILCHRIST,
JOHN FERGUSON.

ROBT. MANSEL,
J. HAMILTON,
ROBT. DUNCAN,
J. DOWNIE,
B. CONNER.

Treasurer.

DAVID M'CALL, 133 West Regent Street.

Secretary.

J. P. SMITH, 67 Renfield Street.

Digitized by Google

ON THE

RATE OF A CLOCK OR CHRONOMETER

AS INFLUENCED BY THE MODE OF SUSPENSION.

By Professor Sir William Thomson.

(SEE PLATE VIII.)

It is well known that the rate of a chronometer, a clock, or a watch may be altered by altering its mode of support. On land, clocks ought to be fixed in as solid a manner as possible, so as to prevent vibration, either by their own action or from extraneous causes, from being communicated to the supports of the pendulum. Even the best astronomical clocks hitherto made are very badly arranged in this respect.

A marine chronometer or watch exhibits in a very striking manner the effects of varying the mode of support. A watch which keeps very good time when carried in the pocket, or laid on a soft pillow, will go at a different rate if laid on a marble slab, or on a hard board. These variations of rate are not due to any imperfections of the balance-wheel or mechanism of the watch or chronometer; but arise from reaction due to the motion of the moving parts. A well balanced watch will go equally well whether supported in a vertical or horizontal plane; and a well made watch will, I believe, not be subject to uncertainty of above a quarter of a second per day, if carried about in the pocket all day and put under the pillow at night. This I can testify from experience of a good pocket-watch which I have tried now for

Digitized by Google

nearly two years; indeed, a good pocket-watch, if well treated, is comparable in its performances, with the best marine chronometer.

I was very much struck some time ago by a remark made to me by Mr. Archibald Smith, of Jordan Hill, regarding a demi-chronometer, with detached lever and compensated balance, presented to him by the Admiralty for the voluntary assistance he had given them in working out methods for adjusting the compasses of iron ships. Mr. Smith found that this watch was going well, until one day he observed it had gained 15 seconds, the reason of which he could not explain until he had recollected that instead of its having been put under the pillow as usual, it had been hung up in a suspended watch-case.

The question now arises, what is the cause of these variations, and how on dynamic principles are they to be explained. The dynamics of the subject are indeed very simple, and can be easily reduced to a well known general problem.

A simple pendulum when it vibrates through a very small arc, vibrates according to the law of simple harmonic motion. Take a spiral spring, with a heavy weight hanging by it, stretch it a little and let it go, and it vibrates according to the same law. The vibrations of a tuning-fork, or any other instrument giving a similar musical sound, are also according to the law of simple harmonic motion. Another case of simple harmonic motion we have when the piston moves to and fro in a cylinder, the head of the piston-rod being guided by a cross-head and slides, and the crank and fly-wheel making one revolution for every backward and forward movement of the piston. The balance-wheel of a watch, vibrating to and fro through a certain angle, is approximately a simple harmonic motion. The longer the hair-spring is, the more nearly it will approach to simple harmonic motion, and it will keep time the more accurately.

Now, against every change of motion of a body there is a certain reaction, and every motion to and fro of the balance-wheel of a watch or chronometer reacts upon the case of the watch or chronometer; and if the case is so suspended as to be free to vibrate, the motion of the balance-wheel will generate a vibration of the whole, so that we have two motions to consider—one, that of the balance-wheel inside the watch;

Digitized by Google

the other, that of the whole watch except the balance-wheel. Upon the mode of suspension of the watch or chronometer will depend the nature of the vibration which it takes up and the resultant effect upon the rate. The rate is accelerated or retarded according as the vibration of the case is in the opposite direction to that of the balance-wheel, or in the same direction; and the amount whether of acceleration or retardation, may be as much as a minute an hour, as I hope to demonstrate to you practically.

If a watch or chronometer, be allowed extreme freedom to move, it has always a faster rate than when the case is held quite fixed. Mr. Archibald Smith has made experiments on this point upon a pocket-watch, with chronometer escapement and compensated balance, and found that the moment of inertia of the frame was $\frac{1}{600}$th of that of the balance-wheel, from having observed that when hung horizontally by a long thread it had a gaining rate of some 67 seconds in the day.

Observations made by Daniel Bernoulli on the sympathy of vibrations* manifested by the pans hanging from the two ends of a common balance, and the solution by Euler of the particular problem thus presented, seem to have originated the great dynamic problem of the vibrations of stable systems.

When a system of particles displaced from a position of equilibrium experiences in consequence forces in simple proportion to the displacements of its different parts, its motion may be thoroughly investigated by a generalisation of this problem of Bernoulli and Euler. The solution involves an algebraic equation of the same degree as the number of independent motions which may be given to the system. When the roots of this equation, which are necessarily all real, are all positive, the equilibrium of the system is stable. It is convenient to confine our attention to this case; but it is interesting and important to remark that all the statements we make in reference to it are applicable by a proper mathematical extension of the language, to cases of unstable equilibrium. Each of the roots of this algebraic equation used in other formulæ belonging to the solution determines a particular

* See a Paper "On the Sympathy of Pendulums," by Mr. Archibald Smith, in the Cambridge Mathematical Journal. No. IX. May, 1840.

Digitized by Google

proportion of different possible displacements, which, if made simultaneously, will give rise to *corresponding* forces of restitution, according to the following condition. The system, starting from rest in its displaced configuration, will, under the influence of these forces, move so as to diminish the displacements of all its parts in the same proportion. Thus all the displacements will come to zero simultaneously; and therefore the system will move precisely through its configuration of equilibrium. There being no frictional or other resistance, it will oscillate—each displacement varying from maximum positive to maximum negative according to the simple harmonic law; the system passing, twice in each period, through its configuration of equilibrium, and being twice for an instant at rest in the configuration of extreme displacement on either side. This is called a fundamental mode of vibration. There are as many such fundamental modes as the system has of degrees of freedom to move (independent variables). Every possible motion of the system may be resolved into simple harmonic vibrations according to these fundamental modes; or the superposition of simple harmonic vibrations, according to the fundamental modes, will give any possible motion of the system. The arbitrary circumstances of displacement and projection by which any possible motion of the system may be instituted are producible by giving proper values to the energies and proper times to the epochs of maximum displacement of the component fundamental modes. The squares of the periodic times of the fundamental modes are the roots of the algebraic equation referred to above. In particular cases, some of these periods may be equal to one another; or all may be commensurable. In general, however, the periodic times of the fundamental modes are all different and incommensurable; and then none of the compound motion—that is to say, no motion except one or other of the fundamental modes—is periodic. The mathematics of the problem, including proofs of these results, will be found in the first volume (now on the point of appearing) of Thomson and Tait's Elements of Natural Philosophy.

The theory is not limited to systems presenting a finite number of independent variables, such as two in the cases we are about to consider more particularly, but is applicable to flexible or elastic bodies and

Digitized by Google

fluids; and to complex systems presenting a finite number of independent variables, on account of solid bodies or material particles, and infinite numbers of variables, due to flexible, elastic, or fluid matter, influenced by them. It includes, for example, the well-known dynamical theory of the vibrations of a stretched cord, of air in an organ pipe, or of water in an open basin of any shape. In the first two of these cases the periods are all sub-multiples of the gravest fundamental modes, whence the explanation of the harmonics of musical cords and of wind instruments; whence also the fact that a stretched cord struck or disturbed in any manner takes a perfectly periodic motion, and gives a true, although not a pure and simple, musical sound, with the peculiar character of the violin, pianoforte, or harp, depending on the way in which the vibration is excited. But the fundamental modes of vibration of an elastic solid—for instance, a stiff metal bar, or a stiff spiral wire (as the "bell" of an American clock), a sheet of metal, or a common bell, are incommensurable. Hence these bodies cannot give any true musical sound other than a pure and simple harmonic note. A large sheet of metal, or a gong, or a drum, when struck, produces an infinite number of discordant notes sounding simultaneously. But in the last-mentioned case, the gravest of the fundamental notes predominates more decidedly than does any one of the fundamental notes in the two other cases; and thus a drum gives a nearer approach to a true musical sound than a sheet of brass or a gong.

An excellent illustration of the general theory is presented by the double pendulum—one pendulum hung from the weight of another—Plate VIII., Fig. 1. If we admit only vibrations in one plane, the system has two degrees of freedom to move. The determinant equation becomes a quadratic with two roots, necessarily unequal. The mathematics need not be given here; but may be advantageously worked out as an exercise by the dynamical student. In the graver fundamental mode the two cords deviate always in the same direction from the vertical; the lower through a greater angle than the upper. In the quicker fundamental mode, the two deviate in opposite directions. The period of the graver fundamental mode is always longer than that of

Digitized by Google

a simple pendulum, of length equal to that of the longer of the two cords; the period of the quicker fundamental mode is always shorter than that of the simple pendulum, equal in length to the shorter cord. If the upper mass is much greater than the one hung from it, and if the two strings be not approximately equal in length, the two fundamental periods differ but little from those of simple pendulums equal in length to the two cords respectively. The diagram—Figs. 1 to 5, Plate VIII.—illustrates the circumstances in the cases; first, when the upper cord is considerably longer than the lower; and second, when the lower cord is considerably longer than the upper. In each case OA is the length of the simple pendulum vibrating in the same period as that of the fundamental mode represented.

Case I.

Figure 2 represents the first or graver fundamental mode; the period of the upper pendulum CP′ being made somewhat graver by the influence of the lower, which, in the course of the vibration, always exerts a force upon it *from* its middle position. Figure 3 represents the second or quicker fundamental mode; the vibration of the upper pendulum being in this instance excessively small in comparison with that of the lower, and forced, by the influence of the latter, to a period much smaller than its own would be if undisturbed.

Case II.

Figure 4 represents the graver mode; the vibration of the upper pendulum through but a very small arc in comparison with that of the lower, being augmented by the influence of the lower, which, in the course of the vibrations, exerts a force upon it always *from* its middle position. Figure 5 represents the quicker mode; the vibrations of the upper pendulum being made somewhat faster by the influence of the lower, and the lower being influenced so as to vibrate as if it were shortened to the length O A, which is somewhat less than the length CP′. If P′ consisted of the frame and work of a spring clock, and P′ P were its pendulum, then, in Case I., the vibrations which would be maintained by the actions of the escapement wheel would be that represented by Figure 3, and the clock would go faster than if its frame

Digitized by Google

were perfectly fixed. In Case II., the vibrations maintained by the escapement would be those represented by Figure 4, and the clock would go somewhat slower than its proper rate. Case I. could never occur in practice, but may be experimentally illustrated by hanging the works of a clock on a light stiff frame, movable round a horizontal axis. Case II., Fig. 4, with CP' much shorter in proportion to P'P than shown in the diagram, represents the actual circumstances of an ordinary pendulum clock, which, owing to want of perfect rigidity of the frame, must experience a little of the influence of the pendulum in the manner there illustrated, causing the rate of the clock to be somewhat slower than it would be if the support of the pendulum were absolutely fixed. The clock cases of the best astronomical clocks are very ill adapted to give the steadiness necessary for good results; and it is wonderful that their performances are not even worse than they are found to be. The pendulum ought to be hung from a massive stone or metal support, attached to a stone pier, such as those used by astronomers for bearing their optical instruments. There can be no doubt but that the use of this simple precaution, and the making the pendulum many times heavier than has been hitherto used, would render the performances of an astronomical clock, even with a Graham's dead-beat escapement, not merely two or three times better than those of a good watch carried about in the pocket, but ten or twenty times better, which it certainly ought to be in its immensely more advantageous circumstances. A good marine chronometer is probably little less accurate than the best astronomical clocks of the present day. It seems strange that such a very great improvement on Graham's dead-beat escapement as either the chronometer escapement, or the detached lever, constitutes, should not yet have been applied to the astronomical clock. The mercury compensation pendulum, although very bad, cannot probably be blamed for the sudden variations of rate, amounting sometimes to as much as two-tenths of a second a-day, to which the best astronomical clocks at present in use are subject,

If a chronometer is suspended in the manner shown in Fig. 6, I find I can make it go fast or slow as I choose, by shifting the points of support nearer to, or farther from the centre. When the

Digitized by Google

upper points of support are very near, the time of vibration of the chronometer as a whole, when turned a little round its vertical axis from the position in which it hangs in equilibrium and let go, is much longer than that of the balance-wheel. When left to itself, with the chronometer going, the reaction of the balance-wheel, through the spring, against the frame, gives rise to a vibration, illustrated by Fig. 3, in which the balance-wheel and the rest of the chronometer vibrate round a vertical axis always in opposite directions. The effect of suspension in this instance is to make the watch go faster than when its case is held perfectly fixed, but this effect is smaller the nearer the upper points of support are. The circumstances of the extreme case when they are as close as possible, are best realised by hanging the chronometer by a long single cord, from a fixed point, by means of a sling or two or three cords attached to the chronometer and so adjusted as to keep its face horizontal: thus giving the frame perfect freedom to move round a vertical axis. The permanent effect is then such, that the balance-wheel and the rest of the chronometer oscillate in opposite directions through ranges inversely as their moments of inertia. The period of this vibration is the same as that which the balance-wheel would have if the length of the hair-spring were diminished to the same proportion to its whole length that the moment of inertia of the chronometer with the balance-wheel free bears to the sum of this moment of inertia and the moment of inertia of the balance-wheel round its own axis. The period of vibration will be diminished according to square-root of this ratio. Thus, if the moment of inertia of the chronometer is 647 times that of the balance-wheel, the period will be $\sqrt{\frac{648}{650}}$, or less than $\frac{1299}{1300}$ of the proper rate; or the chronometer will gain one second in 1299, or about 67 seconds in the twenty-four hours. This was the result observed by Mr. Smith, from which he inferred the moment of inertia of the pocket-chronometer referred to above.

If, on the other hand, the upper points of support are put very wide apart, the vibration maintained is of the same character as that illustrated in Figure 4, and the watch goes slower than its proper rate. The farther apart the points of support are the less is this effect, as the circumstances approach more nearly to a perfect fixing of the frame.

Digitized by Google

If now, commencing with the upper points of support very close together, we gradually increase the distance between them, or, starting with them very wide apart, we gradually diminish the distance, a certain critical arrangement is approached from either direction, and the gaining rate in the former case, or the losing rate in the latter case, is augmented. This critical arrangement is such that the period of vibration of the suspended chronometer, when set to vibrate by an external disturbance, is approximately equal to the period of vibration of the balance-wheel. When the upper points of support are adjusted to produce it, and the chronometer, going, is left to itself, the action of the internal prime mover will bring the whole into a state of vibration, which may be either the first fundamental mode (balance-wheel and frame-work vibrating in the same direction), in which case the chronometer will have a losing rate, or the second fundamental mode (balance-wheel and frame vibrating in opposite directions), in which case the chronometer will have a gaining rate. The gain or loss may amount to as much as one second in sixty or eighty with an ordinary ship chronometer, taken off its gimbals, or a pocket detached lever watch. The amount of the effect will of course be much less for a marine chronometer, not removed from its gimbals, but suspended by cords attached to its outer case, on account of the great addition of moment of inertia due to the outer case. With a marine chronometer, or any watch having a chronometer escapement (Harrison's), or having a duplex escapement, the seconds hand jumps forward once, and one comparatively loud beat is heard, for each period of the balance-wheel; and thus it is easy to see whether the watch, when suspended, is vibrating according to the first fundamental mode (losing), or the second mode (gaining), by noticing in which direction the visible motion is at each beat of the escapement. With either of these kinds of escapement the experiments above described are liable to stop the watch when the upper points of support are adjusted for the critical arrangement. Thus, for instance, if the points of support have first been too close for the critical arrangement, and are gradually separated until the vibration of the frame becomes very large, a great gain of rate is produced; and if the distance is then a little farther increased, the watch will often

Digitized by Google

stop: if then a slight impulse round the vertical axis is given to it to start it, it will commence vibrating according to the first fundamental mode, with a largely losing rate. The other corresponding result is obtained by commencing with the points of support too far asunder for the critical arrangement and bringing them gradually together.

Without exciting independent vibrations of the chronometer or watch as a whole, and counting them, it is easy to perceive whether the circumstances approach the critical condition, by applying the hand to steady the watch, and then observing the phenomena presented when it is left to itself. If the upper points of support are either much too wide apart or much too close together for the critical arrangement, the watch-case will not take any regular harmonic vibration, but will make a slight (perhaps scarcely perceptible) jump once every semi-period, or once every period of the balance-wheel, according to the character of the escapement. But if the upper points of support be set approximately to the critical arrangement, and the watch brought to rest and left to itself, it will be seen to commence vibrating through a gradually wider and wider arc until a maximum of vibration is attained. The amplitude of vibration will then diminish, but not to zero; will increase to a second maximum smaller than the first; will diminish to a second minimum not so small as the first minimum; increase to a third maximum smaller than the second; and so on, until, after several of these alternations, a sensibly steady state of vibration, very closely simple harmonic, is attained. How nearly the critical arrangement is approximated to, may be judged by counting the number of vibrations executed from starting to the first maximum, from the first maximum to the first minimum, and so on—the numbers being greater the nearer the adjustment is to the critical condition. I made these experiments first on board the *Great Eastern* during her last summer's cruise; and it was curious, as an illustration of the general principle of the superposition of motions, to watch the various phenomena of vibration of the suspended watch presented, quite independently of the swinging due to the rolling of the ship.

When the top points of support are arranged precisely to the critical condition, I find that the watch will, of itself, take sometimes one mode of vibration, sometimes the other. But a very slight devia-

Digitized by Google

tion in either direction from the critical arrangement suffices to do away with this indifference, and to insure that, when the watch is steady and left to itself, it will take up either always the gaiuing or always the losing mode of vibration. But even then it may be compelled to take up either mode by properly-timed touches with the finger, and it continues vibrating accordingly when left to itself. Thus, when the top points of support are adjusted, either precisely, or somewhat approximately, to the critical condition, the watch may be made to go either faster or slower than its proper rate, by applying the hand to cause it to take up either mode of vibration at pleasure, and then leaving it to itself. This last experiment ought not, however, to be pushed too far with a valuable chronometer, as the effort to make it take up a mode of vibration opposite to that which it takes up of itself, is liable to make the escapement-wheel trip and run round rapidly, escaping from the control of the balance-wheel and the escapement—this disturbance not being produced by any violent action of the hand, but by very gentle touches properly timed. No such derangement can, I believe, ever take place when the watch is hung in the manner described, and left at rest to take up whatever mode of vibrating it will, and no damage to the most delicate chronometer can result.

The knowledge of those facts may be of advantage—first, in pointing out a simple plan for setting a chronometer without touching the hands; second, in showing how it ought to be supported, in regular use, so that it may go at a uniform rate and keep correct time. It is usual to place ship's chronometers on cushions, at sea, to guard against damage to the works, from tremors of the ship. If the cushion be moderately hard, the chronometer's rate does not (as I have found by trials on board the *Great Eastern*) differ sensibly from what it is when the chronometer is laid on a hard board, the instrument being of course always kept on its gimbals in its heavy outer case. If, however, the cushion is soft enough, the critical condition explained above may be reached or even passed; and great variations of rate in either direction may be produced. Thus, a certain degree of softness in the cushion may make the chronometer lose considerably; and a still softer

Digitized by Google

cushion may make it gain considerably; and cushions softer yet would make the chronometer gain, although not so much. It is possible that an improvement in the practical performance of chronometers at sea may be attained by fixing the outer case of the instrument to a very heavily weighted base, this base being placed on an ordinary cushion.

At the conclusion of the paper, in answer to questions by the PRESIDENT, Mr. DAY, and Mr. DAVISON,

Sir WM. THOMSON said that the weight of the chronometer would influence the rate at which it would gain or lose by the oscillation, so that it was better to have a massive watch than a light one, as the former was more likely to go well. No doubt, the rate of an ordinary watch-chronometer is very much affected by railway travelling. His own pocket-watch gained from four to eight seconds in journeys to London and back. The railway carriage vibration affected as a prime mover the vibration of the balance-wheel, not merely as vibrations induced in the frame by the interior movement would do. If a chronometer case is well weighted, its performance will not be practically injured by the influence which has been described. If it were firmly attached to the middle of a four-feet-long plank, with heavy weights fixed near the ends, its rate would be sensibly the same as if its case were absolutely fixed, however this board is supported. To avoid damage from the tremors of the ship, this board should be placed on cushions, and strapped down, or lashed properly, for security.

If a watch be hung on a nail, it depended upon the dimensions of the watch and the time of the balance-wheel whether it will go faster or slower than its proper rate. If, when hung on a nail and set to swing, it vibrated more rapidly than the balance-wheel, then the effect of the hanging would be to induce a slower-rate; but if when set to swing it vibrates slower than the balance-wheel, then when left to itself it will go faster than when the case of the watch is held quite fixed. A watch regulated to go correctly when hanging on a nail, (according to a faulty practice, sometimes followed, he believed, in watchmakers' shops) cannot be expected to go at even approximately the same rate as when carried about in ordinary use.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06520 9036

Digitized by Google